

Kristiina Siilin

ASIAKKAIDEN SÄHKÖVARASTOJEN JOUSTOMAHDOLLISUUDET ENERGIAYHTIÖLLE JA JOUSTON ASIAKASARVOLUPAUKSET

Tekniikka ja luonnontieteet
Diplomityö
8/2019

TIIVISTELMÄ

Kristiina Siilin: Asiakkaiden sähkövarastojen joustomahdollisuudet energiayhtiölle ja jouston asiakasarvolupaukset
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Johtaminen ja tietotekniikka
Tarkastajat professori Marko Seppänen ja professori Pertti Järventausta
08/2019

Energiantuotantorakenne muuttuu ja yhteiskunnassa eletään energiamurrosta, missä tuotanto siirtyy keskitetystä yhteistuotannosta kohti lämmön erillistuotantoa ja sähkön hajautettua tuotantoa uusiutuvilla energian tuotantomuodoilla. Suuremmassa roolissa on myös asiakas, jonka laitteet liittyvät osaksi sähköjärjestelmän kokonaisvaltaista hallintaa. Uusiutuvaan energiaan pohjautuvan tuotannon vaikutuksesta sähköjärjestelmän tehotasapaino ja sen ylläpito vaativat panostuksia. Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj ylläpitää reservimarkkinoita, joiden yhtenä tehtävänä on ylläpitää sähköjärjestelmän tehotasapainoa.

Joustoa lisääviä ratkaisuja ovat kulutus, tuotanto, Suomen rajat ylittävät siirtoyhteydet sekä markkinat kuten Fingridin ylläpitämät reservimarkkinat. Joustoon kykeneviä laitteita ja ratkaisuja ovat sähkövarastot, sähköautojen latauskuormat, sähkölämmityskuormat, varavoimakoneet ja irti kytkettävät kuormat kuten pumput, ilmanvaihto ja valaistus. Joustossa edellä mainittuja laitteita ja ratkaisuja ohjataan esimerkiksi sähköjärjestelmän taajuuden mukaan.

Tässä työssä tavoitteena oli selvittää kuluttaja-asiakkaiden asenteita ja suhtautumista kulusjousto- ja kirjallisuuskatsauksen sekä asiakashaastatteluiden kautta. Kuudessa asiakashaastattelussa selvitettiin asiakkaiden tärkeinä pitämiä ominaisuuksia heidän hankkimissa aurinkopaneelissa ja sähkövaraston sisältävissä järjestelmissä. Haastatteluissa pyrittiin tunnistamaan, minkä tekijöiden koetaan tuottavan arvoa järjestelmän omistamisessa ja käytössä. Havainnoista muokattiin ehdotukset joustopalvelun arvolupauksiksi.

Työssä keskityttiin kuluttaja-asiakkaiden sähkövarastojen ohjausmahdollisuuksiin ja potentiaaliin kulusjoustossa. Asiakashaastatteluiden lisäksi työssä tehtiin numeerinen analyysi joustopotentiaalista Fingridin FCR-N reservimarkkinalla. Numeerista analyysiä varten tehtiin Matlab-laskentamalli, jonka avulla määritettiin sähkövarastojen joustoon käytettävissä oleva aika verrattuna asiakkaiden omaan tarpeeseen varastoida itse tuotettua aurinkoenergiaa. Tuloksia jatkokehitettiin määrittämällä joustolle taloudellinen potentiaali nykymarkkinamallilla ja netotusmallilla. Lisäksi tarkasteltiin jouston vaikutuksia sähkövaraston elinikään.

Lopputulokset osoittavat joustopotentiaalin olevan pieni nykymarkkinamallilla. Nykymarkkinamallissa FCR-N tuntimarkkinahinnan tulisi ylittää 36 €/MW/h, jotta tarjous kannattaisi jättää. Netotusmallissa minimitarjoushinta määritettiin olevan 13 €/MW/h. Nykymarkkinamallissa joustoon käytettäviä tunteja oli vuoden 2018 FCR-N tuntimarkkinalla 15 % koko vuoden tunneista, eli yhteensä noin 1300 tuntia. Kannattavuuden lisäksi joustopotentiaalia pienentää asiakkaan oma sähkövaraston käyttö aurinkoenergian varastointiin. Tarkasteltujen viiden asiakkaan taloudellisen joustopotentiaalin keskiarvo on viidesosan pienempi, kuin mitä nykymarkkinamallissa olisi mahdollista saavuttaa osallistumalla joustoon kaikkina niinä tunteina, kun minimitarjoushinta 36 €/MW/h ylittyy. Netotusmallilla tulokset paranevat, jonka mukaan viiden asiakkaan taloudellisen joustopotentiaalin keskiarvo on noin puolet pienempi, kuin mitä netotusmallissa olisi mahdollista saavuttaa osallistumalla joustoon kaikkina niinä tunteina, kun minimitarjoushinta 13 €/MW/h ylittyy. Netotusmallissa vuoden 2018 FCR-N tuntimarkkinalla 62 % tunneista ylitti minimitarjoushinnan, eli joustoon olisi ollut kannattavaa osallistua noin 5430 tuntina.

Sähkövarastojen käyttöä todettiin myös lyhenevän joustossa: nykymarkkinamallissa syklien lisääntyminen on maltillista, 34 % lisäys aurinkoenergian tuotantoon pohjautuvaan optimointiin. Netotusmallissa jäädään 11 % alle sähkövaraston takuun rajan. Asiakkaat tunnistivat akkujen kulumisen lisääntyvän jouston takia ja siihen suhtauduttiin kaksijakoisesti. Osa asiakkaista piti hyvänä asiana sähkövaraston käyttämistä myös talvella. Toiset asiakkaat olivat huolissaan akkujen ikääntymisestä talvikäytön myötä ja kyseenalaistivat jouston. Lisäksi samat asiakkaat halusivat joustopalveluntarjoajan huolehtivan akuista ja tarjoavan joustossa kuluneiden tilalle uudet akut.

Asiakkaat pystyttiin jaottelemaan teknologiasta kiinnostuneisiin ja ympäristötietoisiin sekä vattomuutta arvostaviin ja ympäristötietoisiin. Teknologiasta kiinnostuneiden joukossa korostui myös tutkijataustaiset asiakkaat, joilla oli muita syvempää innostusta ja kiinnostusta sähkövarastoa ja sen toimintaa kohtaan. Kaikki haastatellut korostivat oman käytön turvaamisen tärkeyttä, eli kaikki itse tuotettu aurinkosähkö halutaan ensisijaisesti käyttää ennen kuin sähkövarastoa ollaan antamassa muiden käyttöön. Myös muut henkilökohtaiset tarpeet menevät kulutusjouston edelle. Haastatellut edelläkävijäkäyttäjät kuitenkin suhtautuivat myönteisesti kulutusjoustoon ja pitivät sitä mahdollisena, mikäli se toteutettaisiin läpinäkyvästi ja siitä saisi reilun korvauksen. Asiakashaastatteluissa asiakkaille ehdotettiin reiluna korvauksen Helenin olemassa olevaa 13 snt/kWh hyvitystä sähköverkkoon myydystä, eli sähkövarastosta puretusta energiasta.

Vaikka jouston potentiaali on nykymarkkinamallilla pieni ja sähkövarastojen määrä on vasta kasvussa, saatiin asiakashaastatteluista vahvistusta sille, että osana yhteisiä ilmastotalkoita asiakkaat ovat valmiita antamaan sähkövarastojen kapasiteetin lainaan kohtuullista käyttöä ja reilua korvausta vastaan. Ilmaston kannalta joustossa saavutettavissa olevat hyödyt pitää pystyä konkretisoimaan asiakkaan elämää koskettavalla tavalla. Lisäksi viestinnässä tämänhetkisellem kohderyhmälle olisi syytä olla rohkeampi ja tuoda saataville lisää tietoa esimerkiksi yhtiöiden verkkosivuille.

Avainsanat: jousto, reservimarkkinat, sähkövarasto, asiakashyväksyntä, asiakasarvo

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Kristiina Siilin: Demand response potential of customer's electrical energy storages for utility company and demand response value propositions
 Master's thesis
 Tampere University
 Management and Information Technology
 Supervisors professor Marko Seppänen and professor Pertti Järventausta
 08/2019

The way we produce energy is changing and we are living in an energy transformation. In the changing environment, the combined heat and power production will be replaced by distributed separate heat production and electricity production covered mostly by renewable energy sources. The customer's role will be enhanced and their appliances will be connected to the overall controlled power system. Renewable energy production influences the power balance in the power system and hence it requires attention and ways to stabilize the grid. Finnish transmission system operator Fingrid Oyj maintains the Finnish reserve markets that are one of the ways to balance the power system.

Solutions that increase flexibility in the power system are consumption, production, cross border electricity exchange and markets such as the reserve markets. Flexible solutions and appliances are electrical energy storages, electric vehicles' charging loads, smart home heating loads, and diesel generators, non-critical switchable loads such as pumps, air conditioning and lighting. One way to stabilize the power system is to control the solutions and appliances according to the grid's frequency.

This thesis aimed to study customers' perceptions and mindset towards demand response. The research methods were literature review and interviews. The six interviews were structured to find out the motives behind the investment in solar energy and storage. The questions were targeted to understand the hidden values that the customer experiences while using the storage system. The findings were used to design the value propositions for the demand response service.

In addition to the customer acceptance study, the control logic and potential of consumer batteries in demand response were analyzed. Numerical analysis was conducted of batteries' demand response potential in Fingrid's FCR-N reserve market. Matlab numerical computing environment was used to calculate the utilizable time for demand response that is left from customer's own usage to store solar energy. Further analysis was conducted to calculate economical demand response potential in current market model and netting market model. In addition, the impact of demand response to the lifetime of the battery was studied.

The results show that the demand response potential is limited in current market model. Demand response is not economically viable unless the FCR-N hourly price exceeds 36 €/MW/h. In netting market model the minimum bid size was calculated as 13 €/MW/h. In current market model the hours of FCR-N hourly market in 2018 that exceeded minimum bid size encompass 15 % of annual hours, that being approximately 1300 hours. Further, the customer's own usage to store produced excess solar energy reduces the demand response potential. The studied average economical demand response potential among five customers is one fifth of the economic potential of all the hours when the price exceeds 36 €/MW/h. In netting market model the results improve and the economical demand response potential is approximately half of the economic potential of all the hours when the price exceeds 13 €/MW/h. In netting market model 62 % of annual hours in FCR-N hourly market in 2018 exceeded the minimum bid size, that being approximately 5430 hours.

The battery lifetime was shown to decrease due to additional cycles in demand response. In current market model increase in cycles was moderate, 34 % increase compared to storing only solar energy. In netting market model the increase was considerable but left 11 % of guaranteed cycles unused. The battery wearing was also pointed out in the interviews but the opinions were contradictory. Some customers thought that demand response is a positive thing that increases the efficient use of costly investment also during winter. Some customers on the other hand worried the wearing and ageing of the batteries and they questioned the presented demand response service. They wanted the service provider to take care of the batteries and to guarantee new batteries in exchange to old ones in case the batteries wear out in demand response.

As a result, the interviewed customers were divided into two groups: ones that were technology oriented but had environmentally friendly mindset and ones that valued easiness and environment. Scientific background was pronounced in the group of technology oriented customers and those customers were enthusiastic about using their storage system. Self-sufficiency and personal use of the energy storage was highlighted in every interview. The locally produced solar energy and its maximal utilization through energy storage was named as the strongest motive to invest in battery energy storage and it was to be guaranteed at all times before they would let someone else to use their battery. If the personal needs were to be taken into account and prioritized the customers were positive towards demand response and were willing to enable it if the service was transparent and fair. In the customer interviews Helen's current fair compensation of 13 cnt/kWh for electricity that is sold to the grid, i.e. discharged from the battery was suggested.

Even though the economic potential of demand response in current market model is moderate and the volume of installed customer scale energy storages is small, the interviews strengthened the vision to utilize distributed resources in demand response. Towards cleaner future, the customers were open to lend their battery capacity in exchange to reasonable use and fair compensation. The environmental benefits from demand response must be clear and concrete and explained in everyday life context. The current lead-user customer segment also needs more information that should be boldly given for example at service provider's website.

Keywords: demand response, reserve markets, electrical energy storage, customer acceptance, customer value

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Opinnäytetyön aihe valikoitui oman työnkuvani kautta Helen Oy:ssä. Vastaan Helenillä sähkövarastojen tuote- ja palvelukehityksestä, jonka ansiosta sain yhdistettyä diplomi-työssä loistavasti päivätyöni ja opintoni mielenkiintoisen ja ajankohtaisen aiheen parissa.

Olen opiskellut tuotantotaloutta työni ohessa vuodesta 2016 saakka ja nyt kolmen vuoden uurastus palkitaan – valmistun viimein. Päällimmäisenä tunteena on helpotus, vaikka ikuinen oppimisen nälkä ei varmasti koskaan katoa. Suurkiitos läheisille tuesta ja jaksamisesta rinnallani vaikka yhteistä vapaa-aikaa onkin ollut ajoittain vähän.

Haluan kiittää myös Heleniä mahdollisuudesta ja joustavuudesta työn ja opintojen yhdistämisessä sekä jo toisen lopputyöaiheen luottamisesta selvitettäväkseni.

Työni ohjaajilla on ollut suuri rooli työn valmistumisessa: kiitos Perttu Lahtiselle, joka vielä työnantajan vaihduttua jaksoit sparrata ja haastaa minua. Kommenttisi ja näkemyksesi ovat antaneet sopivasti ajattelun aihetta myös oman laatikon ulkopuolelta. Kiitos kuuluu myös Tampereen yliopiston professoreille Marko Seppäselle ja Pertti Järventaus-talle kommentteista ja tuesta matkan varrella.

Helsingissä, 13.8.2019

Kristiina Siilin

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn taustaa	1
1.2 Tutkimuskysymykset ja taustaoletukset.....	3
2. JOUSTON TOIMINTAYMPÄRISTÖ	5
2.1 Jouston tausta-ajurit.....	5
2.2 Fingridin reservituotteet.....	6
2.3 Sähköjärjestelmän inertia pienenee	9
2.4 Sähkövarastot osana joustoa	11
2.5 Jouston tutkimiseen yleisesti käytetyt menetelmät	14
2.6 Yhteenveto.....	15
3. ASIAKKAAT OSANA ENERGIAEKOSYSTEEMIÄ	16
3.1 Asiakkaiden rooli kasvaa osana energian tuotantoa.....	16
3.2 Tyypilliset menetelmät kuluttajakäyttämisen tutkimuksessa	19
3.3 Kuluttajatutkimus asiakkaiden energiatietoisuudesta.....	20
3.4 Edelläkävijäkäyttäjien löytäminen.....	22
3.5 Asiakkaan arvon muodostuminen ja palvelun arvolupaus	24
3.6 Yhteenveto.....	28
4. JOUSTON TALOUDELLISEN POTENTIAALIN JA ASIAKASARVON TUTKIMUSMENETELMÄT	30
4.1 Lähtötilanne	30
4.2 Data-analyysi	30
4.2.1 Mallin reunaehdot	31
4.2.2 Taloudellisen kannattavuuden huomioiminen.....	34
4.3 Asiakashaastattelut.....	35
5. TULOKSET	37
5.1 Jouston toimintaperiaatteet	37
5.1.1 Aurinkoenergian tuotannon vaikutus joustoon	38
5.1.2 Sähkövaraston joustopotentiali	40
5.1.3 Jouston vaikutus sähkövaraston elinikään	42
5.2 Jouston hyöty asiakkaille, energiayhtiölle ja sähköjärjestelmälle	43
5.2.1 Hyöty asiakkaille	43
5.2.2 Hyöty energiayhtiölle.....	45
5.2.3 Hyöty sähköjärjestelmälle	47
5.2.4 Jouston kokonaishyödyt.....	48
6. YHTEENVETO.....	50
6.1 Arvolupauksen täyttyminen	50
6.2 Työn suositukset	52
6.3 Työn arviointi ja rajoitteet	53
6.4 Jatkotutkimusmahdollisuudet	54
LÄHTEET	57

KUVALUETTELO

Kuva 1. Tutkimuksen rakenne tutkimuskysymysten (TK) määrittelystä tuloksiin.	3
Kuva 2. Suomen day-ahead hinnat ajanjaksolta 20.9.–27.9.2018. Alhaisin sähkönhintaa 2,33 €/MWh esiintyi 22.9.2018 klo 03-04 (Nordpool, 2019).	6
Kuva 3. Suomen tuulituotanto ajanjaksolta 20.–27.9.2018 (Fingrid Oyj, 2018). 22.9.2018 klo 03-04 tuulituotanto on ollut 80 % koko Suomen tuulivoiman tuotantokapasiteetista (Suomen Tuulivoimayhdistys, 2018), joka on heijastunut sähkönhintaan (2,33 €/MWh) samana hetkenä.	6
Kuva 4. Fingridin reservimarkkinatuotteet, mukaillen (Brink, 2018).	8
Kuva 5. Fingridin FCR-N vuosimarkkinan hinta- ja hankintamäärien kehitys vuosina 2011–2018 (Fingrid Oyj, 2019b).	9
Kuva 6. Vesivarastojen tilanne eri vuodenaikoina Norjassa ja Ruotsissa (Energiameklarit, 2018).	11
Kuva 7. Sonnen-sähkövarastot Suomessa kartalla: yksi Sonnen on asennettu Lappiin ja loput 26 kappaletta Etelä- ja Keski-Suomeen (sonnen, 2019).	13
Kuva 8. Vuoden vaihteessa 2016–2017 Helenin lanseeraama lämpölupaus aktivoi ympäristötietoisia asiakkaita. Lämpölupauksen lunastusinto laski kampanjan aikana.	18
Kuva 9. Voltalikes ratkaisu kuluttajien sähkön kulutuksen ennustamiseen ja ohjaamiseen (Voltalis, 2018).	22
Kuva 10. Asiakkaat hankkivat energiaan liittyviä palveluita, joiden arvo muodostuu sähkölaskun loppusumman optimoinnista, jouston tarjoamisen hyödyistä sekä mukavuutta ja laatua parantavista asioista (Alkuperäinen kuva: Perttu Lahtinen).	26
Kuva 11. Uuden tuotteen tai innovaation asiakassegmentit voidaan jaotella viiteen ryhmään tuotteen elinkaaren ajalle (Rogers, 1971).	27
Kuva 12. Laskentamallin logiikka ja datan perusteella laskettavat numeeriset arvot.	33
Kuva 13. Sähkövarasto varastoi aurinkopaneelien ylituotantoa: keväällä ja kesällä sähkövaraston rajallinen varastointikapasiteetti tulee vastaan, kun sähkövarasto täyttyy (varausaste 100 %). Syksyllä puolestaan varastointikapasiteettia hyödynnetään vain osittain (varausaste alle 50 %) ja talvella sähkövarasto on käyttämättömänä (varausaste 0 %).	39
Kuva 14. Viidelle asiakkaalle laskettiin nykymarkkinamallilla jouston tuotto oman käytön puitteissa, jota verrattiin viiden asiakkaan jouston taloudellisen potentiaalin keskiarvoon. Kuvassa on esitetty asiakkaan tuoton suhde keskiarvoon asiakaskohtaisesti. Markkinan volyymi kuvastaa Sonnen-sähkövaraston FCR-N tuntimarkkinan maksimituoton suhdetta asiakkaiden keskiarvoon nykymarkkinamallilla.	41
Kuva 15. Viidelle asiakkaalle laskettiin netotusmallilla jouston tuotto oman käytön puiteissa, jota verrattiin viiden asiakkaan jouston taloudellisen potentiaalin keskiarvoon. Kuvassa on esitetty asiakkaan tuoton suhde keskiarvoon asiakaskohtaisesti. Markkinan volyymi kuvastaa Sonnen-sähkövaraston FCR-N tuntimarkkinan maksimituoton suhdetta asiakkaiden keskiarvoon netotusmallilla.	41
Kuva 16. Jouston vaikutus sähkövaraston tekemisiin lataus-purkusykleihin ja käyttöasteeseen.	42
Kuva 17. Asiakkaiden arvomaailma asiakashaastatteluiden pohjalta.	43
Kuva 18. SWOT-analyysi sähkövarastojen jousto-palvelusta energiayhtiölle.	47

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. FCR-N tuntimarkkinoiden kehitys vuosina 2016–2018 hankintamäärien ja hintojen osalta (Fingrid Oyj, 2019a).....</i>	<i>8</i>
<i>Taulukko 2. Sähkövaraston vaikutus omavaraisuuteen ja sen käyttöaste erilaisten kulutus- ja tuotantoprofiilien tapauksessa perustuen kolmen asiakkaan dataan.....</i>	<i>40</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve, automaattinen taajuuden palautusreservi
EDES	Energy Data Ecosystem and Services, energiadatan ekosysteemi ja palvelut -projekti
FCR-D	Frequency Containment Reserve, Disturbance, taajuuden vakautusreservi häiriötilanteessa
FCR-N	Frequency Containment Reserve, Normal Operation, taajuuden vakautusreservi normaalissa toiminnassa
FFR	Fast Frequency Reserve, nopea taajuus reservi
JTK	Jatkotutkimuskysymys
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat)
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TK	Tutkimuskysymys

1. JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Ihmisen perustarpeiden täyttyminen on tärkeä osa turvallisuuden tunnetta. Lämmitys ja sähkö ovat edellytyksiä, joiden olemassaoloa ei kyseenalaisteta ennen kuin niiden toimituksessa on häiriöitä. Energiayhtiöt ovat tuoneet markkinoille sähkөөn liittyviä palveluita, kuten energian seuranta- ja ohjauspalveluita. Palveluilla pyritään lisäämään sähkөөn kiinnostavuutta ja tietoa aiheesta asiakkaiden keskuudessa. Kiinnostus oman sähkөөn kulutuksen seurantaan kumpuaa ainakin osittain halusta pyrkiä energiatehokkuuteen.

Nykyään sähköistymisestä puhutaan paljon alan julkaisuissa. Asia tulee lähemmäs tavallisen ihmisen elämää muun muassa sähköautojen, aurinkosähköjärjestelmien ja sähkövarastojen ansiosta. Ilmastotietoisuus ja omien valintojen merkitys korostuvat asiakkaiden kulutustottumuksissa, asiakkaat osaavat kysyä ja vaatia ympäristölle kestäviä ratkaisuja. Suurin osa uusista ratkaisuista on hyvin teknisiä ja niistä kiinnostuneet lukevat edelläkävijöihin, joilla on aikaa, rahaa ja sisäistä mielenkiintoa kokeilla ja kehittää uusia teknologisia ratkaisuja omiin tarpeisiin.

Uudet ratkaisut, jotka raivaavat tietä kohti päästötöntä yhteiskuntaa muistuttavat sähkөөn olemassaolosta, tarpeesta ja alkuperästä. Kulutus- ja tuotantorakenteen muuttuminen pakottavat alan toimijat ja järjestelmävastaavat miettimään hallintakeinoja sähköjärjestelmämme tasapainottamiseen. Kun kulutus ja tuotanto poikkeavat paljon toisistaan, syntyy tehotasapainon poikkeama järjestelmäämme, jolloin taajuus sähköverkossa vaihtelee.

Sähköverkon tehotasapainon hallinta on viimekädessä Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n vastuulla. Velvollisuuksien hoitamiseksi Fingrid ylläpitää muun muassa reservimarkkinoita, joiden tehtävä on markkinaehtoisesti huolehtia sähköverkon tehotasapainosta eri reservituotteiden avulla. Reservituotteet ovat tuotteita, jotka kykenevät säättämään kulutusta tai tuotantoa markkinavaatimusten, kuten nopeuden ja kapasiteetin puitteissa, palauttaakseen tai ylläpitääkseen verkon tehotasapainoa eli pitämään taajuuden nykyisessä 50 Hz tavoitteessa.

Reservimarkkinoille osallistuu sellaisia resursseja, jotka pystyvät joustamaan toiminnassaan, joko tuotannossa tai kulutuksessa. Joustoa tarvitaan, kun tuotannon ja kulutuksen

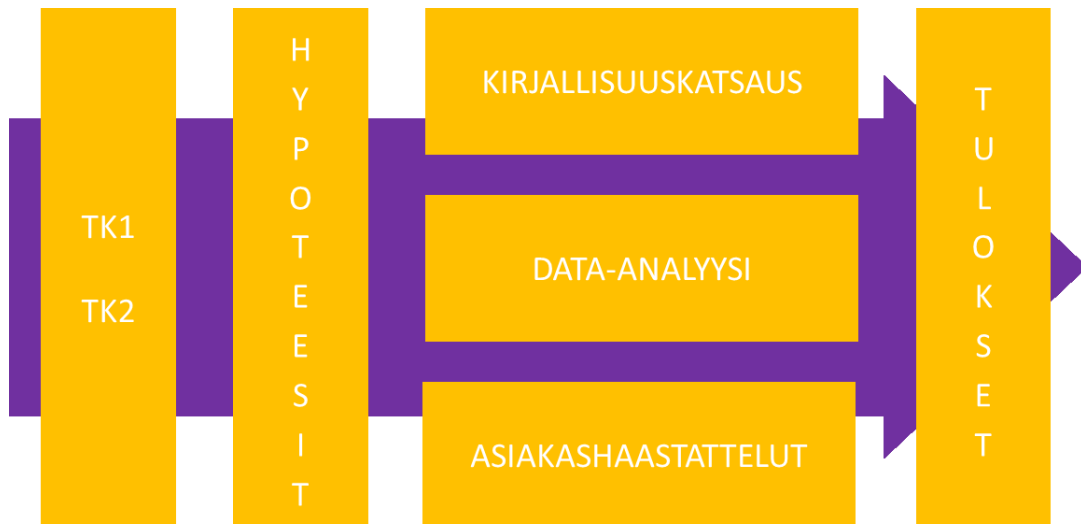
ennustaminen on vaikeaa ja poikkeamat ennusteesta ovat suuria. Vaikeasti ennustettavaa tuotantoa on muun muassa uusiutuvaan energiaan pohjautuvat tuotantomuodot kuten tuuli- ja aurinkoenergia. Ydinvoima puolestaan on vakaata ja päästöttömäksi miellettyä sähköä, jonka avulla katetaan sähkönkulutuksen peruskuormaa. Ydinvoiman staattisuuteen liittyy kuitenkin tarve joustaa kulutuksessa, jos kulutus tai muut tuotantomuodot poikkeavat ennusteesta. Ydinvoiman suuri yksikkökoko puolestaan kasvattaa sähkön toimitusvarmuuden riskiä häiriötilanteissa, jolloin äkillisesti vähenevä suuri tuotantomäärä on korvattava toisella.

Molempia epävarmuuksia, tuotantoa ja kulutusta, on hallittava. Tämän takia Fingrid hankkii nopeasti aktivoituvaa tuotantokapasiteettia, sekä päälle tai pois kytkeytyvää kulutusta reservimarkkinoilta. Myös kulutusvaihtelut kasvavat tulevaisuudessa. Epäsäännölliset kulutuspiikit tulevat lisääntymään muun muassa sähköisten liikennevälineiden latauksen sekä kaksisuuntaisen latauksen takia.

Diplomityön toimeksiantaja Helen Oy on edelläkävijä uusien energiaratkaisuiden kuten jouston, uusiutuvan energian tuotannon ja sähkön varastoinnin alueilla. Helen on käynyt kauppaa asiakkaiden reservikohteilla Fingridin reservimarkkinoilla jo vuodesta 2015 lähtien. Toiminnassaan ja uusien palveluiden kehityksessä Helen haluaa mahdollistaa asiakkailleen pääsyn osaksi energiamarkkinoita ja jakaa sen kautta saatavilla olevaa lisäarvoa. Helenin kautta asiakkaiden resurssit muodostavat virtuaalivoimalaitoksen, joka optimoi sähkön kulutusta ja tuotantoa sekä asiakas- että markkinalähtöisesti.

Helen aloitti sähkövarastojen myynnin kotitalouksille aurinkosähköjärjestelmien yhteyteen vuoden vaihteessa 2017 - 2018. Helen tarjoaa myös yrityksille sähkövarastoja turvaamaan heidän ydinliiketoimintaansa sekä tuomaan lisäarvoa tehon säädössä sekä oman tuotannon tasaamisessa. Sähkövarastojen kyky toimia Fingridin reservimarkkinoilla on tämän työn keskiössä: työssä tarkastellaan sähkövarastojen teknisten reuna-ehdojen ja asiakaskäyttämisen puitteissa laitteiden hyödyntämistä joustoon.

Tämän työn tavoitteena on kuvata jouston motiiveja sekä sähkövaraston omistavan asiakkaan että laajemmin sähköjärjestelmän näkökulmasta. Lisäksi työssä keskitytään erityisesti asiakkaiden sähkövarastojen joustopotentiaaliin ja selvitetään mitä arvoa asiakkaille syntyy, kun heidän sähkövarastonsa joustavat. Kuvassa 1 on esitetty työn rakenne. Työ etenee tutkimuskysymysten (TK) määrittelystä ja taustaoletuksista alaluvussa 1.2 kirjallisuuskatsaukseen. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät on katettu kirjallisuuskatsauksen osalta kappaleissa 2 ja 3, data-analyysin osalta alaluvussa 4.2 ja asiakashaastatteluiden osalta alaluvussa 4.3. Työn tulokset on käsitelty kappaleessa 5.



Kuva 1. Tutkimuksen rakenne tutkimuskysymysten (TK) määrittelystä tuloksiin.

1.2 Tutkimuskysymykset ja taustaoletukset

Työssä analysoidaan vuoden 2018 kesän ja syksyn aikana kerätyn datan pohjalta sähkövarastojen hyödyntämispotentiaalia joustoon ja pyritään muodostamaan argumentit puolesta tai vastaan, miksi sähkövarastoja kannattaa tai ei kannata hyödyntää joustoon. Työssä pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin TK1 ja TK2:

TK1: Miten ja mistä jouston arvo muodostuu asiakkaalle?

TK2: Miten joustoa kannattaa toteuttaa asiakkaiden sähkövarastoilla niin, että siitä on hyötyä asiakkaalle, energiayhtiölle sekä sähköjärjestelmälle?

Työ lähtee oletuksesta, että energia ja oma sähkönkulutus eivät kiinnosta valtaosaa asiakkaista. Työssä oletetaan, että asiakasta ei motivoi seurata sähkön hinnan vaihteluita tai optimoida kulutustaan halvan sähkön hinnan tunneille. Sen sijaan oletetaan, että asiakkaat pyrkivät toimillaan pitkäjänteisempään kustannussäästöön.

Työn yksi oletus on, että jouston hyötyjä ei tunneta kuluttajien keskuudessa riittävästi eikä joustoa tunnisteta vaikutuskeinona ympäristöystävällisemmän energiantuotannon lisärakentamisessa. Vaikka nykypäivänä ilmastoahdistus, eli ilmastonmuutokseen liittyvien asioiden aiheuttama epämiellyttävä olo vaikuttaa isossa kuvassa huoleen energian tuotantomuodoista ja yhteiskunnan paineeseen pienentää tuotannon päästöjä, omien vaikutusmahdollisuuksien koetaan olevan rajalliset.

Vaikka jouston hyötyjen oletetaan olevan kuluttajille epäselviä, voidaan silti olettaa heidän suhtautuvan myönteisesti joustoon, mikäli se ei vaikuta heidän elämäänsä ja koet-

tuun mukavuuteen. Lisäksi, koska jouston arvon oletetaan olevan nykymarkkinassa vähäinen, ei voida myöskään odottaa asiakkaiden olevan valmiita investoimaan tai panostamaan jouston mahdollistavaan teknologiaan.

Työn lopputuloksilla on tavoitteena lisätä energia-alan ymmärrystä joustoon ja sen mahdollisuuksiin, sekä oppia tuntemaan paremmin energiamarkkinoille mahdollisesti osallistuvia asiakkaita. Työssä pyritään löytämään keinoja, miten ja mihin suuntaan markkinaa olisi syytä muuttaa tulevaisuudessa. Työn tuloksena ei odoteta löytyvän suurta taloudellista perustetta joustoon eli ei suositella suuria investointeja. Sitäkin tärkeämpänä tuloksena odotetaan saatavan näkemys siitä, mitä pitäisi tapahtua, että joustolle löytyisi perusteita.

Jouston kehittämisellä odotetaan olevan perusteltu paikka energiayhtiöiden tuote- ja palvelukehityksessä edelläkävijäaseman säilyttämiseksi ja tahtotilan osoittamiseksi siitä, miten energiamarkkinan nähdään tulevaisuudessa toimivan. Asiakashaastattelujen kautta odotetaan saatavan näkökulmia, minkälaisia perusteita ja motiiveja energiayhtiölle nousee esiin kehittää joustoa eteenpäin tulevaa markkinakehitystä silmällä pitäen.

2. JOUSTON TOIMINTAYMPÄRISTÖ

2.1 Jouston tausta-ajurit

Perinteisesti sähköntuotantoa ja kulutusta ennustetaan historiatiedon pohjalta ja päivän sisäisiä ennustevirheitä korjataan päivän sisäisillä markkinapaikoilla. Jokainen tasevastuussa oleva energiamarkkinaosapuoli pyrkii välttämään tasevirhettä, eli tuotantotaseessa olevan tuotantoennusteen ja kulutustaseessa olevan kulutusennusteen virhettä. Tasevastaavat hallitsevat omia taseitaan ja Fingrid vastaa koko Suomen sähkötaseesta sekä rajojen yli siirrettävästä kapasiteetista. Silloin kun sähkön kulutus ja tuotanto eivät kohtaa, vaatii tasepoikkeama toimenpiteitä.

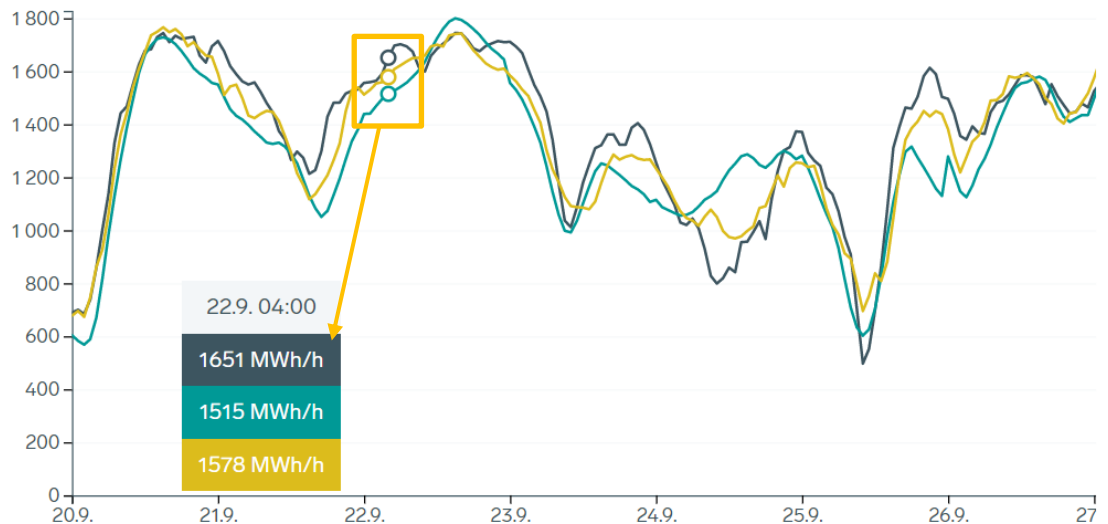
Tuotannon ja kulutuksen tasapainotukseen tarvitaan joustoa. Perinteisten tuotantomuotojen, kuten pyörivien turbiinien vähentyessä sähköjärjestelmästä, nousee jouston merkitys tärkeämmäksi. Taajuuspoikkeamissa ilman pyöriviä turbiineita järjestelmän hitaus reagoida äkillisiin muutoksiin vähenee, jolloin joustoresursseiksi tarvitaan nopeasti aktivoituvia laitteita kuten sähkövarastoja. Joustavia resursseja ovat muun muassa kulutus, tuotanto, Suomen rajat ylittävät siirtoyhteydet sekä markkinat kuten Fingridin ylläpitämät reservimarkkinat (Pearce & Forsman, 2018).

Tuotantorakenteen haasteet tulevat vastaan uusiutuvien energiantuotantolähteiden lisääntyessä. Vuonna 2017 koko Suomen sähkönkulutuksesta 5,6 % oli tuulivoimalla tuotettua (Suomen Tuulivoimayhdistys, 2018). Hetkinä, kun säätymätöntä tuotantoa on merkittävästi enemmän kuin kulutusta, sähkön hinta laskee. Sekä Tanskassa että Saksassa sähkön hinta on ollut ajoittain jopa negatiivinen runsaasta tuulituotannosta johtuen. Saksan ylituotanto yhtäaikaaisesti Tanskan ylituotannon kanssa johtaa siihen, että kummankaan maan kulutus ja tuotanto eivät ole tasapainossa. Poikkeama heijastuu yhteisvaikutuksen kautta sähkönhintaan. Tanskassa sähkön markkinahinta heijastaa Saksan markkinahintaa Tanskan muihin maihin suuntautuvien rajallisten siirtoyhteyksien vuoksi. Sähkön hinta on ylitarjonnan tilanteessa negatiivinen, eli sähkön kuluttamisesta maksetaan Tanskassa sekä Saksassa (Bach, 2018).

Vuosien 2018 ja 2019 aikana myös Suomessa sähkönhinnan on nähty laskevan alle kymmenyksen normaalista spot-hinnasta, kuten kuva 2 osoittaa. Suomen alhaisina spot-hinnan hetkinä myös tuulivoiman tuotanto on ollut huipussaan, jota havainnollistaa kuva 3.

Min	14,49	3,88	34,47	3,97	10,03	2,33	2,40	29,58
Max	72,97	56,31	70,49	67,91	48,21	37,70	48,89	49,64
Average	41,17	33,28	49,00	45,11	36,97	21,96	37,27	43,37
	27-09-2018	26-09-2018	25-09-2018	24-09-2018	23-09-2018	22-09-2018	21-09-2018	20-09-2018

Kuva 2. Suomen day-ahead hinnat ajanjaksolta 20.9.–27.9.2018. Alhaisin sähkön-hinta 2,33 €/MWh esiintyi 22.9.2018 klo 03-04 (Nordpool, 2019).



Kuva 3. Suomen tuulituotanto ajanjaksolta 20.–27.9.2018 (Fingrid Oyj, 2018). 22.9.2018 klo 03-04 tuulituotanto on ollut 80 % koko Suomen tuulivoiman tuotantokapasiteetista (Suomen Tuulivoimayhdistys, 2018), joka on heijastunut sähköhintaan (2,33 €/MWh) samana hetkenä.

Sähkön hintaan vaikuttavat polttoaineiden hinnat, vesivoiman tilanne eli kuivuus ja sateet sekä päästöoikeuksien hinnat, mutta myös kulutuksella ja tuotantorakenteella on hintavaikutuksia. Yleisesti hintavaihtelut tulevat lisääntymään (SKM Market Predictor, 2019), mikä antaa kuluttajille aihetta suhtautua myönteisesti joustoon, mikäli sillä on heille taloudellista hyötyä. Kuluttajat pyrkivät suojautumaan hinnan vaihteluilta kiinteillä sähkösopimuksilla tai kodin älyratkaisuilla, jotka optimoivat sähkön oston halvimmille tunneille.

2.2 Fingridin reservituotteet

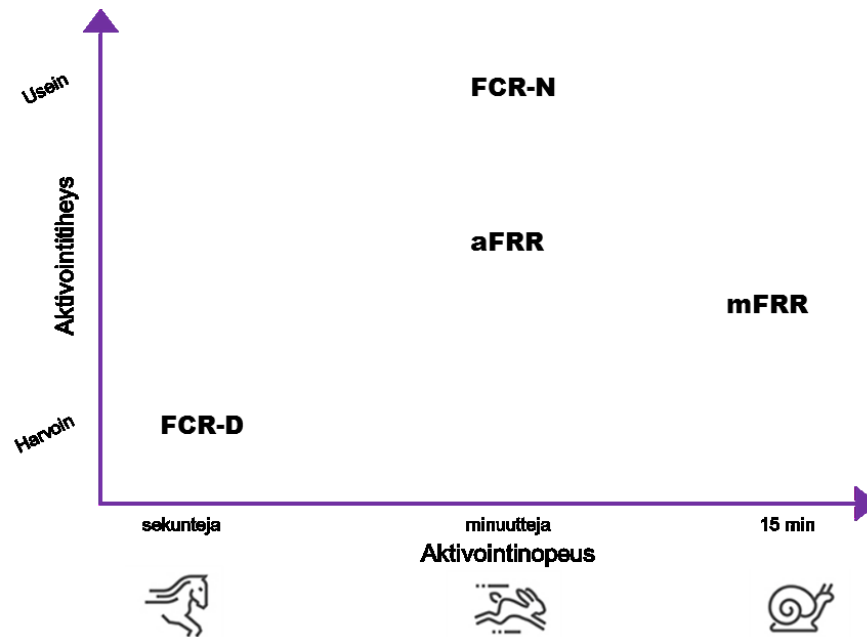
Fingridin ylläpitämät säätösähkömarkkinat ovat yksi keino lisätä sähköjärjestelmän joustoa. Säätösähkömarkkinoilla paikataan tuotannon ja kulutuksen poikkeamasta syntyvää vajetta joko tuotannolla tai kulutuksella. Sähköjärjestelmän tasapainon säilyttämiseksi Fingridillä on useita reservituotteita: taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-N ja FCR-D), automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR), manuaalinen taajuuden palautusreservi (mFRR) ja säätösähkömarkkina. Reservituotteet eroavat toisistaan aktivointinopeuden ja -ajankohdan suhteen. Reservituotteiden eroja on havainnollistettu kuvassa 4. Taajuusohjattu käyttöreservi ja automaattinen taajuudenhallintareservi ovat taajuutta

jatkuvasti ja automaattisesti säätäviä tuotteita. Taajuusohjattu häiriöreservi ja manuaalinen taajuuden palautusreservi puolestaan aktivoidaan vain häiriötilanteessa, eli silloin kun sähköverkon taajuus laskee tai nousee liikaa.

Sähkövarastot ovat yksi resurssi, jotka pystyvät tukemaan sähköverkon taajuuden muutoksia reaaliajassa. Fingridin reservituotteista FCR-N markkinapaikka soveltuu parhaiten sähkövarastoille. Sähkövaraston osallistuessa FCR-N markkinalle se lataa sähköverkosta, kun taajuus on yli 50 Hz, ja purkaa sähköverkkoon, kun taajuus on alle 50 Hz. Fingrid maksaa korvauksen reservin ylläpitäjälle ja FCR-N markkinalla korvaus maksetaan ylläpidetyn tehokapasiteetin perusteella. Fingrid varautuu etukäteen säätötarpeeseen hankkimalla reservejä vuosimarkkinoilta. Vuosimarkkinoilla on sama kiinteä hinta vuoden jokaiselle tunnille ja siten reservin ylläpitäjä pystyy helposti arvioimaan vuosituotot.

Fingrid hankkii reservituotteita myös tuntimarkkinoilta, joiden hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan. Tuntimarkkinoilla on vuosimarkkinaa keskimääräisesti korkeampi hinta, mutta reservin ylläpitäjälle ansainta on epävarma johtuen hankintamäärien vaihtelusta. FCR-N tuotteen tuntimarkkinahinnat ja hankintamäärät on esitetty taulukossa 1. Kuvassa 5 puolestaan näkyy FCR-N tuotteen vuosimarkkinan hinnan ja hankintamäärien kehitys. Vuosina 2017 ja 2018 tuntimarkkinalta on hankittu puolet kyseisen vuosimarkkinan hankintamäärän volyyymistä.

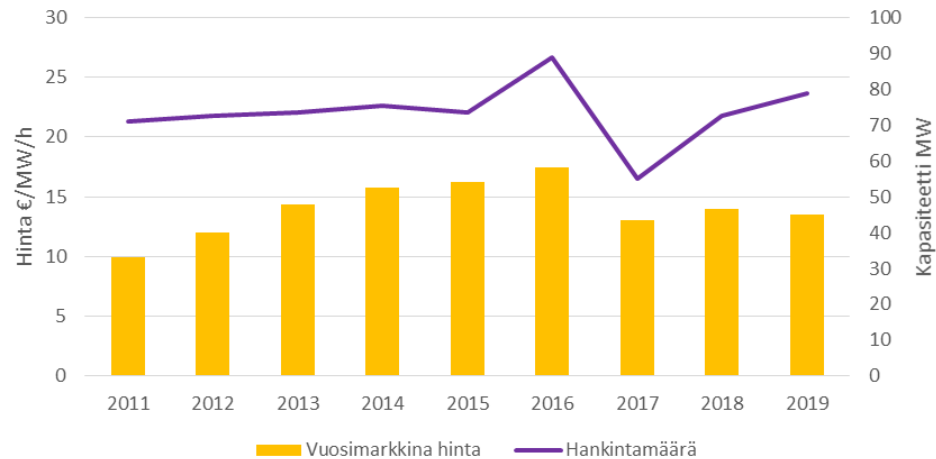
Taajuushäiriöt ja Fingridin tarve hankkia reservituotteita painotuvat kevääseen ja kesään muun muassa kuivuuden ja vesivoimavaihtelun takia. Vuosien 2016–2018 tuntimarkkinahinnan ja hankintamäärän vaihtelu on esitetty kuvaajissa, jotka löytyvät liitteestä A.



Kuva 4. Fingridin reservimarkkinatuotteet, mukailen (Brink, 2018).

Taulukko 1. FCR-N tuntimarkkinoiden kehitys vuosina 2016–2018 hankintamäärien ja hintojen osalta (Fingrid Oyj, 2019a).

	2016	2017	2018
FCR-N tuntimarkkinahinta, hintakeskiarvo	16,87 €/MW/h	20,87 €/MW/h	22,79 €/MW/h
FCR-N tuntimarkkinahinta, maksimi-hinta	104,2 €/MW/h	112,7 €/MW/h	305 €/MW/h
FCR-N maksimi tuntimarkkinahinnan ajankohta	Tammikuu	Maaliskuu	Heinäkuu
FCR-N tuntimarkkinan hankintamäärä, hankintakeskiarvo	10,17 MW	34,22 MW	35,19 MW
FCR-N tuntimarkkinan hankintamäärä, maksimihankinta	56,7 MW	114 MW	105 MW
FCR-N tuntimarkkinalla ei hankintaa, tuntien määrä	3060 h	92 h	69 h



Kuva 5. Fingridin FCR-N vuosimarkkinan hinta- ja hankintamäärien kehitys vuosina 2011–2018 (Fingrid Oyj, 2019b).

2.3 Sähköjärjestelmän inertia pienenee

Taajuushäiriöt ja niiden laajuus sekä vakavuus liittyvät sähköverkon inertiaan. Tuotantorakenteen muuttuessa kohti laajamittaisempaa aurinko- ja tuulienergian hyödyntämistä, pienenee sähköverkon inertia.

Tämä tarkoittaa taajuutta ylläpitävien pyörivien koneiden poistumista. Kun inertia on pieni, on sähköverkko entistä herkempi äkillisten tuotannon tai kulutuksen notkahduksista aiheutuville taajuuspoikkeamille. Uusia reservituotteita tullaan siten tarvitsemaan alaluvussa 2.2 esitettyjen lisäksi. Sähkövaraston nopea säätökyky on etu matalan inertia tilanteissa, sillä se mahdollistaa tavoitetaajuuden nopean palauttamisen keinotekoisella inertia avulla syöttämällä sähköenergiaa verkkoon.

Puhuttaessa inertiaa sähköverkon yhteydessä tarkoitetaan sähköjärjestelmään varastoitunutta liike-energiaa. Sähköverkossa liike-energia eli inertia varastoituu voimalaitoksissa ja tehtaissa käynnissä oleviin koneisiin. Sähköverkon taajuudella, eli 50 Hz taajuudella, pyörivät massat synnyttävät inertiaa sähköverkkoon. Inertia määrään vaikuttaa pyörivän massan määrä sekä kierrosnopeus. Inertiaa on sitoutuneena muun muassa lauhdevoimalaitoksiin, ydinvoimaloihin sekä vesivoimaloihin. Uusiutuvan energian tuotanto, kuten tuuli- ja aurinkosähkön tuotanto puolestaan vähentävät inertiaa, sillä ne kytkeytyvät sähköverkkoon taajuusmuuttajien tai vaihtosuuntaajien eli inverttereiden kautta. (Laasonen, 2018)

Sähköjärjestelmän inertia pienenee, kun tuotantorakenne muuttuu Pohjoismaisessa sähköjärjestelmässä. Sen lisäksi, että Suomeen tulee Fingridin mukaan uusiutuvaa

energiantuotantoa lisää vuosittain 2-5 TWh, tilanteeseen vaikuttaa muun muassa Suomessa suljettavat lauhdevoimalaitokset ja ydinvoiman lisääntyminen sekä taajuusmuuttajien taakse siirtyvät teollisuuskuormat. Lisäksi Ruotsin ydinvoiman väheneminen ja Suomessa tuotannon korvautuminen tuontisähköllä suuritehoisten korkeajännitteisten tasasähkösiirtoyhteyksien kautta pienentävät inertiaa. (Laasonen, 2018)

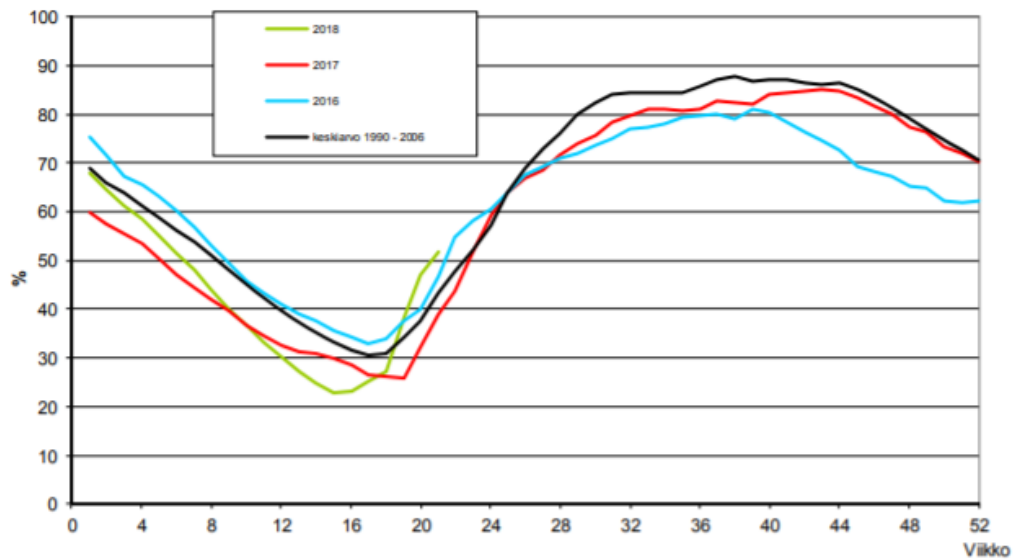
Kun sähköverkossa ilmenee häiriötilanne ja sen taajuus laskee, häiriötilanteen normalisoimiseksi saadaan vaste verkkoon kytketystä pyörivästä massasta, joka vapauttaa liikkeeseen sitoutunutta energiaa samalla, kun sen kierrosnopeus pienenee. Inertia siten vastustaa nopeita muutoksia ja edesauttaa taajuuden palautumista häiriötilanteesta. Jos sähköjärjestelmän inertia puolestaan on pieni, ei siihen ole sitoutunut riittävästi energiaa jonka voisi muuttaa tehovasteeksi, ja siten verkon taajuus laskee lyhyessä ajassa paljon.

Kallis tapa reagoida pienenevään sähköverkon inertiaan olisi hankkia ja kytkeä lisää pyörivää massaa sähköverkkoon. Toinen vaihtoehto on markkinaehtoinen ratkaisu, missä nopeasti aktivoituvan häiriöreservin kautta olisi saavutettavissa sama hyöty taajuuden palauttamiseksi.

Fingrid työstää parhaillaan yhteistyössä Pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden kanssa FFR-reservimarkkinan periaatteita ja sääntöjä (*FFR, Fast Frequency Reserve*), joka tuottaisi reservin tarjoajien kautta sähköjärjestelmään synteettistä inertiaa. FFR reservituote olisi uusi tuote alaluvussa 2.2 kuvattujen olemassa olevien tuotteiden lisäksi. Syn-teettistä inertiaa pystytään tuottamaan esimerkiksi sähkövarastoilla, joiden reagointiaika mitattuun taajuusmuutokseen on muutamia millisekunteja. FFR reservituotteen suunniteltu hankinnan aloitus on kesällä 2020 (Kuivaniemi ja Uimonen, 2019).

Inertiaa on vähän kesäisin, sillä vuosihuoltojen takia voimalaitoksia on normaalia vähemmän kytkettynä verkkoon (Haikarainen, 2019). FFR reservituotteen hankinta siten painottuu kesään. Yleisesti markkinahinta reservimarkkinoilla on korkeimmillaan keväisin (liite A), mikäli vesivoimasta on pulaa. Vesivoimaa käytetään sähköverkon taajuuden säätöön yhtenä merkittävimmistä nopeista säätävistä resursseista. Kun säädöstä on pulaa, nousee myös markkinoilla tarve ja sen seurauksena hinta. Keväällä viikkojen 8 ja 24 välillä on odotettavissa keskimääräisen toteuman perusteella pulaa vesivoimasta, kuten kuvasta 6 nähdään. (Energiameklarit, 2018)

Inertiaan liittyvät muutokset sähköjärjestelmässä osaltaan perustelevat reservimarkkinoiden olemassaoloa. Nykyisiin markkinapaikkoihin on tullut ja tulee jatkossa muutoksia: uusia markkinapaikkoja kehitetään säätötarpeen muuttuessa, mutta myös vanhojen olemassa olevien markkinapaikkojen hankintamääriä muutetaan. Markkinoiden kehittyminen ja hankintamäärien sekä arvostuksen ennustaminen on haastavaa.



Kuva 6. Vesivarastojen tilanne eri vuodenaikoina Norjassa ja Ruotsissa (Energiameklarit, 2018).

Toimialalla on spekuloitu muun muassa, mitä FCR-N markkinalle tapahtuu: putoaako markkinan arvostus, kuten FCR-D markkinalle kävi, kun sen arvostus putosi puoleen kahdessa vuodessa (Fingrid Oyj, 2019)?

Fingrid itse toteaa tasehallintahankkeensa ajankohtaisraportissa, että vuonna 2019 automaattisesti aktivoituvan aFRR reservituotteen hankinta lisääntyy (Heikkilä, 2018). Siihen ei ole otettu kantaa, vaikuttaako aFRR reservin hankintamäärä FCR-N reservin hankintamääriin. Vastaavasti pienen inertian tilanteisiin suunnitellun FFR reservituotteen hankinnan aloitus vuonna 2020 ja sen vaikutukset esimerkiksi FCR-D tuotteen hankintamääriin on epävarmat.

Epävarmassa markkinatilanteessa varmaa on vain se, että sähköjärjestelmän toimintavarmuutta ja tasapainon säilyttämistä täytyy hallita. Tuotantorakenteen muuttuminen ja inertian pieneneminen osaltaan vain lisäävät tarvetta. Markkinaehtoisuus on Fingridille kustannustehokkain tapa hankkia reservejä sähköjärjestelmän ylläpitoon.

2.4 Sähkövarastot osana joustoa

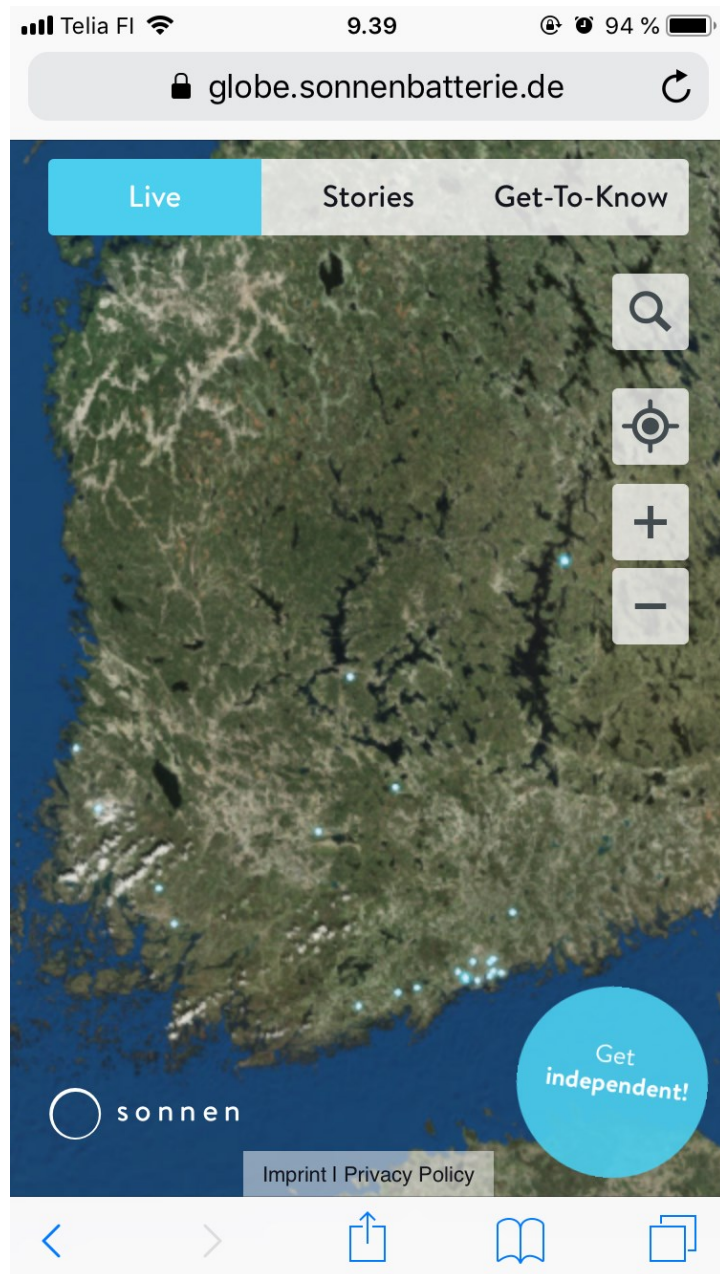
Sähkövarastoja hyödynnetään Suomessa jo nyt osana joustoa. Espoossa Sellon kaupakeskuksessa vuodesta 2018 (Siemens, 2019) ja Järvenpäässä Fortumin voimalaitoksen yhteydessä vuodesta 2017 (Fortum Oyj, 2017) saakka toiminnassa olleet teollisuusmittakaavan sähkövarastot osallistuvat kantaverkon taajuuden ylläpitoon. Helenin vastaan kokoinen sähkövarasto on ollut tutkimuskäytössä vuodesta 2016 ja tutkimushankkeen päätyttyä vuoden 2019 aikana sähkövarasto tulee osallistumaan joustoon

markkinaehtoisesti. Myös Lidlin suunnitelmat Järvenpään logistiikkakeskukseen ovat mittavat ja osana kiinteistön energiavirtojen optimointia, kiinteistöön asennettava sähkövarasto tulee osallistumaan joustoon (Malin, 2019).

Suomessa asennettujen teollisuusmittakaavan sähkövarastojen yhteenlaskettu kapasiteetti oli 5,2 MW keväällä 2019 (Malin, 2019). Sähkövarastojen kapasiteetti tulee kaksinkertaistumaan vuoden 2019 aikana, kun muun muassa TuuliWattin 6 MW:n sähkövarastohanke Viinamäen tuulipuistoon valmistuu (Rantapohja, 2019).

Koko sähköjärjestelmä hyötyy sähkövarastojen joustosta. Pienen inertian tilanteissa sähkövarastojen nopea reaktiokyky voi pelastaa sähköjärjestelmän mittavalta vialta. Esi-merkki löytyy puolentoista vuoden takaa Australiasta, missä Teslan 100 MW Powerpack-sähkövarasto havaitsi hiilivoimalan vikaantumisen seurauksena sähköverkon taajuuden äkillisen putoamisen (Spaen, 2017). Teslan Powerpack-sähkövarasto aktivoitui tukemaan sähköverkkoa 100 MW teholla 0,14 sekunnissa korvaten osan 200 MW tuotannon vajeesta.

Myös älykkäissä etäohjattavissa kotitalouskokoluokan sähkövarastoissa on mahdollisuus kytkeä varastot joustoon. Suomessa on myynnissä Sonnen –merkinen saksalainen sähkövarasto, joka löytyy kaikilta sähkövarastoliiketoimintaa harjoittavilta suomalaisilta toimijoilta kuluttaja-asiakkaille suunnatusta valikoimasta. Sonnen GmbH on Saksan markkinajohtaja ja myynyt maailmanlaajuisesti yli 40 000 sähkövarastoa (Eckert, 2019). Suomessa markkina on kuitenkin vielä maltillinen ja Sonnen-pilveen internetin välityksellä kytkettyjä sähkövarastoja on yhteensä 27 (tilanne 25.4.2019), kuten kuvasta 7 nähdään (sonnen, 2019).



Kuva 7. Sonnen-sähkövarastot Suomessa kartalla: yksi Sonnen on asennettu Lappiin ja loput 26 kappaletta Etelä- ja Keski-Suomeen (sonnen, 2019).

Sähkövarastojen yleistymistä hidastaa teknologian hinta sekä lainsäädännölliset esteet sähkövarastojen omistamiseen ja verotukseen liittyen. Suomen työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) älyverkkotyöryhmän tehtävänä oli selvittää älyverkkojen mahdollisuuksia sähkömarkkinoilla (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2018b). Työryhmän tavoitteena oli esittää toimia, joilla älyverkot mahdollistavat asiakkaiden aktiivisen osallistumisen sähkömarkkinoille. Vuoden 2018 lopussa valmistui työryhmän loppuraportti, missä todettiin muun muassa sähkövarastoihin liittyen, että sähkövarastojen omistamisen ja käytön tulisi olla kilpailtua liiketoimintaa. Tämän seurauksena verkkoyhtiölle ei ehdotettu omistusoikeutta sähkövarastoihin muulloin kuin poikkeustapauksissa, mutta sen sijaan mahdollisuutta

hankkia sähkövarastopalveluita markkinoilta tasavertaisuusperiaatteita noudattamalla (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2018a). Lisäksi raportissa otettiin kantaa sähkövarastojen verotukseen, jonka osalta kaksinkertainen verotus tulisi TEM-älyverkkotyöryhmän mukaan poistaa.

Lakimuutos koskien valmisteverotusta uudistui ja astui voimaan tammikuussa 2019. Lakimuutoksessa sähkövarastojen verotusta on selkeytetty ja kaksinkertaisen verotuksen osalta muutos toi avun teollisuusmittakaavan sähkövarastoille (Eduskunta, 2018).

Lakimuutoksen myötä suoraan sähköverkkoon liitettyjen sähkövarastojen katsotaan olevan kiinteä osa sähköverkkoa, jolloin sähköverkossa sähkön siirtäminen on verotonta ja siten sähkövarastoon ladatusta energiasta ei tarvitse maksaa veroa. Myös Verohallinto pyrki selkeyttämään verotusta ja lakimuutoksen pohjalta julkaisi 1.4.2019 voimaan tulleen ohjeistuksen sähkövaraston omistajille mahdollisuudesta hakea verottoman sähkövaraston pitäjän lupaa ja sähkövarastolle verottoman sähkövaraston statusta (Verohallinto, 2019).

Suoraan sähköverkkoon liitetyn sähkövaraston operatiiviset kustannukset pienenevät merkittävästi verohelpotuksen myötä. Vastaavaa veromuutosta olisi syytä käsitellä seuraavaksi käyttöpaikan mittauksen taakse liitetyille sähkövarastoille, mikäli jousto nähdään ratkaisevassa roolissa energian tuotantorakenteen murroksessa ja asiakkaita halutaan aktiivisemmin mukaan sähkömarkkinoille.

2.5 Jouston tutkimiseen yleisesti käytetyt menetelmät

Joustoa on yleisesti tutkittu sekä teknisessä että taloudellisessa mielessä. Markkinoiden kehitystä on yritetty ennustaa ja sitä kautta mallintaa ja simuloida jouston hyötyjä. Jousto on käsitteenä laaja, jonka vuoksi sen tutkimusta on rajattu käytötapausten avulla. Tässä työssä tunnistettuja joustavia resursseja on runsaasti ja niiden joustopotentialin määrittäminen, kannattavuuden arviointi ja yleistys isommassa mittakaavassa ovat yksinään hyviä diplomityön aiheita.

Muun muassa omina diplomitöinä on tutkittu sähköautojen latauskuormien joustopotentialia (Einolander, 2018) sekä teollisuuskoneiden joustopotentialia (Aro, 2017; Väänänen, 2017). Lisäksi diplomityönä jouston kaupallistamista ja potentialia energia-yhtiöille on selvitetty (Kuusisto, 2018). Pöyry yhdessä Fingridin kanssa on omassa selvityksessään kartoittanut liiketoimintamalleja ja toimijoiden rooleja (Pöyry, 2016). Myös tutkimusryhmät, kuten Helsingin yliopiston kuluttajatutkimuskeskus on tutkinut joustoa pilottien kautta (Söyrinki, Heiskanen ja Matschoss, 2018). Jouston tutkiminen pilottien kautta kuvaa hyvin yleisesti käytettyjä menetelmiä, missä yhden pilotin kautta pyritään

löytämään yleisemmin toimialaa tai asiakassegmenttiä kuvaavia periaatteita, jotka skaalautuisivat laajemmin jouston yleisiksi periaatteiksi.

Tutkimuksissa ja töissä käytettyjä laskentamenetelmiä on monia. Jouston houkuttelevuutta voidaan arvioida puhtaasti taloudellisista lähtökohdista takaisinmaksuajan ja sijoitettun pääoman tuoton kautta (Kuusisto, 2018) tai teknisessä mielessä joustoon kykenevien koneiden mitoituksen kautta (Aro, 2017). Jouston potentiaalin tunnistamiseksi teollisuuskohteissa muun muassa Matti Aro on kehittänyt kahdeksan vaiheisen menetelmän teollisuusmittakaavan kuormien tunnistamiseksi (Aro, 2017).

Teknisempiin selvityksiin kerätty data on tyypillisesti saatu suoraan potentiaalisesta joustoresurssista ja sen omistajalta, toisin sanoen jouston asiakkaalta. Tutkimuksissa on myös osana aineistoa otettu huomioon vaikeammin mitattavia hyötyjä kuten asiakkaan kokemaa arvoa, saavutettavissa olevaa hyötyä sekä menetyksen uhkaa.

Kysyntäjouston toteuttamiseen tarvitaan koneita tai laitteita, jotka tyypillisesti sijaitsevat asiakkaan tiloissa. Jouston tutkimisessa on selvitetty myös asiakkaan näkökulmasta uusien energiaratkaisujen houkuttelevuutta ja asiakkaiden valmiutta kokeilla ja olla mukana joustossa. Jouston houkuttelevuus kiteytyy siitä saataviin hyötyihin, jotka ovat konkreettisesti mitattavissa euroina. Sen takia useat selvityksissä käytetyt menetelmät kuvaavat nykymarkkinan liiketoimintalogiikkaa ja pyrkivät hahmottelemaan markkinamuutosta, missä joustosta saatavien mitattavien hyötyjen määrä olisi suurempi (Pöyry, 2016).

2.6 Yhteenveto

Joustoa tarvitaan tasapainottamaan sähköjärjestelmää. Sähköjärjestelmässä on sitoutuneena joustavuutta siihen kytketyn kulutuksen ja tuotannon kautta. Sähköjärjestelmän nopeaan mukautumiskykyyn vaikuttaa sähköjärjestelmän inertia, joka on sähköjärjestelmään varastoitunutta liike-energiaa. Yksi joustoresurssi jolla voi sekä kuluttaa että tuottaa sähköä on sähkövarasto, jonka nopea vaste sähköverkon muutoksiin tuottaa järjestelmään synteettistä inertiaa.

Sähköverkon tasapainottamiseksi Fingrid ylläpitää reservimarkkinoita, missä kestoaltaan ja vasteajaltaan vaihtelevilla reservituotteilla tuotetaan sähköjärjestelmään joustoa. Energiamarkkinan murroksessa myös reservituotteita kehitetään. Markkinoiden kehittämisen lisäksi lainsäädäntöä on kehitetty. Jouston houkuttelevuus kaupallisille toimijoille vaatii muun muassa sähkövarastojen verotuskohtelun tasavertaistamista, johon tuli muutos vuoden 2019 alussa. Lakimuutos koskee sähköverkkoon suoraan kytkettyjä sähkövarastoja, joihin saa lain mukaan ladata sähköä verottomasti.

3. ASIAKKAAT OSANA ENERGIAEKOSYSTEEMIÄ

3.1 Asiakkaiden rooli kasvaa osana energian tuotantoa

Tässä kappaleessa pohditaan energiayhtiöiden muuttunutta roolia energian tuotannossa ja energiamarkkinoiden muutosta keskitetystä energian tuotannosta kohti hajautettua energian tuotantoa. Kappaleesta käy ilmi asiakkaiden rooli osana energian tuotantoa ja heidän sähkölaitteiden hyödyntämismahdollisuuksia joustoresurssina energijärjestelmän hyväksi. Lisäksi kappaleessa tarkastellaan tarkemmin, minkälaisia joustoresursseja asiakkailta löytyy ja miten energijärjestelmä voisi niitä hyödyntää markkinoiden tarpeisiin.

Energiayhtiöt ovat perinteisesti pitäneet kaupungit lämpimänä ja tuottaneet sekä myyneet sähköä. Ympäristöpoliittisista syistä ja teknologiatehityksen myötä energiamarkkina on muuttumassa, jonka lisäksi alalle on tullut runsaasti uusia toimijoita, kuten kasvuyrityksiä, jotka keskittyvät tarjoamaan asiakkaalle yksittäisiä tuotteita tai palveluita kuten aurinkoenergiaratkaisuja, lämpöpumppuja tai älykoti-palveluita. Markkinan muutostrendi on vahvasti läsnä kaikkien isojen energiayhtiöiden strategioissa ja tiekartoilla. Muutokseen varautuvat energiayhtiöt lähtevät entistä voimakkaammin mukaan muutokseen, joka osaltaan lisää hajautetun energiainfrastruktuurin rakentumista.

Sähköisen liikenteen palveluiden, älykotiratkaisuiden, aurinkosähkölaitteiden ja sähkövarastojen tarjoamiseen siirryttäessä asiakkaille rakentuu omia energiantuotantolaitoksia, joiden sisällä ja niistä ulospäin lähtevien energiavirtojen hallinta on kiinnostava ja luonteva rooli energiayhtiöille. Asiakkaiden sitouttaminen osaksi kokonaisuutta onnistuu myös energiakumppanuuden avulla, jolloin asiakas saa huolettomuutta ja jatkuvaa palvelua yhdeltä toimijalta. Energiayhtiön tehtäväksi jää oman sähkön ja lämmön tuotannon lisäksi asiakkaiden energiaratkaisuiden hallinta ja optimointi. Energiaratkaisuiden hallinta on energiayhtiöille eduksi muun muassa jouston näkökulmasta, joka mahdollistaa myös asiakkaiden pääsyn energiamarkkinoille.

Keskitetty energiantuotanto on tähän saakka ollut energiatehokasta yhteistuotantoa, mutta päästöjen leikkaaminen vaikeuttaa lämmöntuotantoa polttamalla, jolloin keskitetystä yhteistuotannosta siirrytään hajautettuun energiantuotantoon (lämmön erillistuotanto ja hajautettu sähkön tuotanto). Sähkön tuotanto voi tapahtua siis myös asiakkaan tiloissa tai kotona. Hajautetussa tuotannossa saman energiamäärän tuottamiseen tarvi-

taan useampia yksiköitä, joiden ohjaaminen, ennustaminen ja säätäminen muuttuvat totutusta. Hajautettujen tuotanto- ja kulutusyksiköiden kokonaisvaltainen ohjaaminen nähdään kiinnostavana toimintana energiayhtiölle.

Tällä hetkellä etäohjaukseen kykeneviä, asiakkaiden joustossa käytettäviä resursseja ovat sähkövarastot, sähköautojen latauskuormat, sähkölämmityskuormat, varavoimakoneet sekä irtikytkettävät kuormat kuten pumput, ilmanvaihto ja valaistus.

Mahdollistamalla asiakkaiden pääsyn osaksi energiamarkkinoita energiayhtiöt ylläpitävät arvokkaita asiakassuhteita ja asiakastyytyväisyyttä. Jouston avulla voidaan parantaa resurssitehokkuutta ja tuottaa asiakkaalle muita lisäarvoa tuovia palveluita, kuten etävalvontaa, joka tuo varmuutta asiakkaalle kotinsa järjestelmän toimivuudesta. Asiakkaan joustoresurssit tarvitsevat ohjausta varten internetyhteyden komentojen ja ohjaussignaalien lähettämiseksi, mikä lisää uuden ulottuvuuden yhtälöön. Tietoturvan tärkeys korostuu ja asiakkaiden resurssien ohjauksen on tapahduttava salattujen yhteyksien kautta.

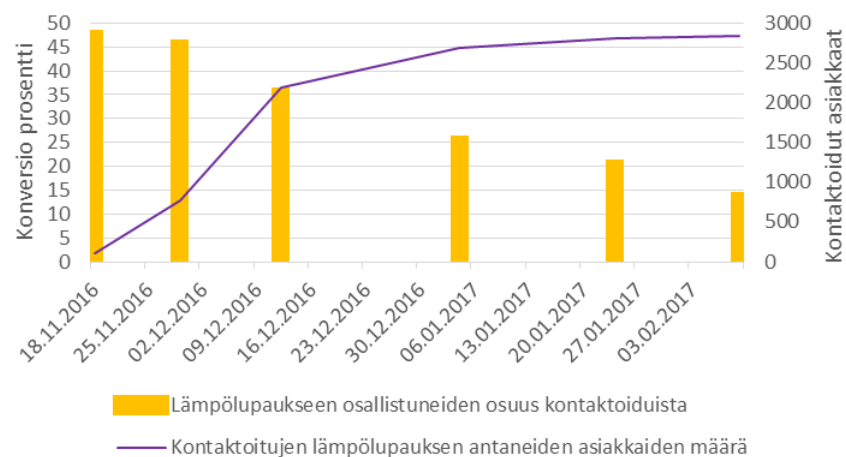
Energiayhtiöllä on tyypillisesti sekä sähkön kulutusta että tuotantoa taseessaan ja ne vastaavat kantaverkkoyhtiö Fingridille molemmista taseistaan. Kaikki energiayhtiön sähkösopimusasiakkaat ovat siten yhtiön kulutustaseessa. Tuotantotaseessa puolestaan on energiayhtiön omat tuotantolaitokset. Fingrid velvoittaa tasevastaavia suunnittelemaan ja ohjaamaan sähkönhankintansa ja -toimituksensa siten, että tuntitason tasepoikkeama pysyy tasevastaavan toiminnan laajuuteen nähden kohtuullisena (Fingrid Oyj, 2017). Suomessa tasevastaavien taseet ovat lähtökohtaisesti alijäämäisiä, eli kulutustaseessa tasesähköä täytyy ostaa Fingridiltä kattamaan suunnitelman ylittävä kulutus ja tuotantotaseessa puolestaan ostaa tasesähköä kattamaan suunniteltu tuotantomäärä, mikäli toteutunut tuotanto poikkeaa suunnitelmasta (Partanen, 2015).

Tasevastaava tekee tuntitason tuotantosuunnitelmat ja toimittaa säätöobjektikohtaiset suunnitelmat kantaverkkoyhtiölle. Tasevastaava vastaa kaikista oman tasevastuun alaisista sähkönmyyjistä (ESett, 2018). Tuotannon hajautuessa ja muuttuessa vaikeasti ennustettavaksi myös tasevastaavien tehtävät muuttuvat haastavammiksi.

Yksi esimerkki hajautetusta tuotannonoptimoinnista ja asiakkaiden osallistamisesta osaksi energian tuotannon infrastruktuuria oli Helenin vuonna 2016 lanseeraama Lämpölupaus kampanja (Helen Oy, 2016). Tässä työssä käsiteltävien asiakkaiden hajautettujen resurssien ohjaamisen näkökulmasta Lämpölupaus-kampanja oli Helenille ensimmäinen pilotti, missä asiakkaat otettiin mukaan ja aktivoitiin ilmastotalkoisiin. Lämpölupaus-kampanjassa lupauksen antaneita asiakkaita pyydettiin pienentämään lämmitystä Helenin ilmoittamana ajankohtana. Lämmitystarpeen hetkellinen pudottaminen oli kes-toltaan muutamia tunteja. Lämpölupauksen onnistumista mitattiin säästetyillä öljylitroilla,

joka vähensi tarvetta Helenin huipunkäyttövoimailaitoksilla. Lisätuotannon tarve korvattiin hajautetulla kulutuksen pienentämisellä.

Kodin lämmityksen säätäminen oli kampanjan aikana manuaalista, eli asiakkaan piti kääntää patterin termostaatti kiinni. Yhteensä noin 3 000 ympäristöasioista kiinnostunut edelläkävijäkäyttäjää teki lämpölupauksen. Aluksi innokkuus uutta palvelua kohtaan oli korkea, kuten kuvasta 8 nähdään. Lupausten lunastusinto laski tammikuun ja helmikuun aikana tehtyjen toimenpiteiden osalta, kun kaikkia lähes kolmea tuhatta lämpölupauksen antajaa lähestyttiin.



Kuva 8. Vuoden vaihteessa 2016–2017 Helenin lanseeraama lämpölupaus aktivoi ympäristötietoisia asiakkaita. Lämpölupauksen lunastusinto laski kampanjan aikana.

Kampanjan jälkeen kerätyn palautteen perusteella asiakkaat mainitsivat arvostavansa ympäristöystävällisiä energiantuotantomuotoja ja lämpölupauksen antaneet olivat lähtökohtaisesti hyvin aktiivisia antamaan palautetta ja edelläkävijöitä energia-asioissa.

Lupaussinon laskua saattoi selittää muun muassa uutuuden viehätyksen katoaminen tai liian tiheä frekvenssi pyynnöille. Lämmön säädön automatisointiin suhtauduttiin myönteisesti palautekyselyssä, ja se osaltaan poistaisi osallistumisaktiivisuuden laskun. Automatisointi oli toivottu jatkokehityssuunta muuten helpoksi ja vaivattomaksi koetussa palvelussa.

Lämpölupauksen kautta saadun asiakaspalautteen valossa tiedetään, että Helenin uusista energiaratkaisuista ja palveluista kiinnostuneet asiakkaat suhtautuvat myönteisesti uusiin palveluihin ja ovat valmiita osallistumaan omalla panoksella yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi ympäristön hyväksi.

3.2 Tyypilliset menetelmät kuluttajakäyttäytymisen tutkimuksessa

Jouston tutkimusta ja hyväksyttävyyttä kannattaa lähestyä teknisen ja taloudellisen tarkastelun lisäksi asiakkaan näkökulmasta. Asiakkaan näkökulmasta aihetta voi tutkia selvittämällä kohderyhmän tietämystä, kiinnostuksenkohteita, asenteita ja valmiutta muuttaa käyttäytymistään tai toimintatapojaan. Sähköön liittyvien palveluiden kuluttajakäyttäytymistä on selvitetty laajasti professori Eva Heiskanen ryhmässä Helsingin yliopistossa, Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa sekä VTT:llä (Heiskanen, Matschoss ja Saastamoinen, 2012; Annala ym, 2014; Matschoss, Heiskanen ja Kahma, 2014; Immonen, 2019)

Myös muut yliopistot kuten Tampereen yliopisto, on tutkinut eri hankkeissa hajautettua energiaekosysteemiä ja sen muodostumista, sekä sitä miten asiakkaat tulisi ottaa mukaan ekosysteemiin (Järventausta ja Systä, 2018). Tampereen yliopisto on mukana muun muassa laajemmassa EL-TRAN tutkimuskonsortiossa (Tampereen yliopisto, 2019), joka tutkii resurssitehokasta sähköjärjestelmää ja sen toteutustapoja sekä Pro-Cem-hankkeessa, missä tutkitaan hajautettujen resurssien hyödyntämistä energiayhteisöissä (Järventausta ja Systä, 2018).

Kuluttajien aktiivisempaa roolia osana energiajärjestelmää voi tutkia sekä ottamalla asiakkaat mukaan kehitystyöhön ja kysymällä heiltä suoraan tai havainnoimalla ulkopuolelta asiakkaiden käyttäytymistä ja pyrkiä tunnistamaan heidän tarpeitaan ja kehittää niihin ratkaisuja. Nykyään palvelullistuvassa yhteiskunnassa asiakaskeskeisyys on muotoutumassa yritysten kilpailuvaltiksi ja sen rooli korostuu. Muotoilun keinot, kuten liiketoiminta- ja palvelumuotoilu, nostavat asiakkaat kehityksen ytimeen, jolloin myös energia-alalla tuote- ja palvelukehitys tulee muuttumaan. Asiakaskeskeisessä palvelukehityksessä kehitetään yhdessä asiakkaiden kanssa heidän tarvitsemiaan palveluita sen sijaan, että ensin luotaisiin ratkaisu yrityksen ydinosaamisalueella ja vasta valmiille ratkaisulle etsittäisiin asiakkaat.

Asiakaskeskeisessä markkinatutkimuksessa ja kuluttajakäyttäytymisen tutkimisessa yleisesti käytettyjä menetelmiä ovat aineiston keruu liittyen asiakkaiden asenteisiin, kulutustottumuksiin, tarpeisiin ja heidän toimintamalleihin. Aineistoa voidaan kerätä haastatteluilla, kyselytutkimuksilla tai työpajoilla. Menetelmän valinta riippuu siitä, tehdäänkö laadullista tutkimusta, jolloin pienempi edustava joukko riittää, tai määrällistä tutkimusta jolloin tarvitaan isompi heterogeeninen joukko osallistujia. Jouston osalta aineistossa voi yhdistyä asiakasymmärryksen lisäksi sekä markkinahintaan että joustoresurssien todellisiin käyttökustannuksiin pohjautuvaa dataa.

Osana kuluttajakäyttäytymisen tutkimusta muun muassa professori Eva Heiskanen tutkimusryhmineen on yhdistänyt asiakashaastatteluita, yhteiskehitystä työpajan muodossa sekä kuluttaja-asiakkaiden että yritysten edustajien kanssa, sekä tilastollista tarkastelua tulosten kvantifioimiseen. Määrällisessä tutkimuksessa tulosten analysointiin käytetään tilastollisia menetelmiä, kun taas laadullisessa tutkimuksessa esimerkiksi syvähaastatteluiden tulokset voidaan jakaa esimerkiksi teemoittain ja havainnoida esiin nousevien aihealueiden ja ideoiden yleisyyttä asiakkaiden keskuudessa sekä peilata vastausten yhteyttä henkilön taustaan.

3.3 Kuluttajatutkimus asiakkaiden energiatietoisuudesta

Eva Heiskanen ja Kaisa Matschoss Helsingin yliopistosta ovat selvittäneet edelläkävijäkäyttäjien kapasiteettia innovoida ratkaisuja reguloidussa energiamarkkinassa, edelläkävijäkäyttäjien innovoimien ratkaisuiden houkuttelevuutta valtaväestölle ja hyödyllisyyttä energiayhtiöille sekä edelläkävijäkäyttäjien hyödyllisyyttä laajassa sosiaalisessa muutoksessa (Heiskanen & Matschoss, 2016).

Edelläkävijäkäyttäjillä tarkoitetaan sellaisia henkilöitä, joilla on samoja tarpeita kuukausia tai jopa vuosia aikaisemmin, kuin massamarkkinalla odotetaan tulevaisuudessa olevan. Lisäksi edelläkävijäkäyttäjät hyötyvät merkittävästi, jos heidän tarpeisiinsa löytyy ratkaisu ennen kuin ratkaisu yleistyy massamarkkinoilla. (Urban & von Hippel, 1986) Edelläkävijäkäyttäjillä on tosielämän kokemusta tarpeiden kanssa, jolloin markkinatutkimukseen parhaimman vastineen saa käyttäjiltä itseltään. Eric von Hippel myös ennustaa, että edelläkävijäkäyttäjät toimivat tulevien ratkaisuiden kehityslaboratoriona markkinatutkimukselle (Urban ja von Hippel, 1986). Tarpeidensa kanssa edelläkävijäkäyttäjät eivät edusta täysin valtavirran tarpeita tulevaisuudessa, ja siksi osana edelläkävijäkäyttäjien osallistamista tuote- ja palvelukehitykseen on hyvä validoida myös sitä, miten kohde-markkinan valtavirta kokee innovaation. Valtavirran testaamiseen voi käyttää esimerkiksi tuotetestausta valitussa segmentissä.

Heiskanen ja Matschoss kuvaavat, kuinka sähkö näyttäytyy tavalliselle kuluttajalle vain hänen käyttämiensä sähkölaiteiden kautta (Heiskanen ja Matschoss, 2016). Tutkimuksessa mainitaan, kuinka laki rajoittaa asiakkaita kehittelemästä ja parantelemasta sähköllä toimivia laitteita itse muun muassa turvallisuussyistä.

Nykyään markkinoilta on saatavilla tuotteita, kuten aurinkopaneeleita ja sähköautoja, jotka tuovat sähköön lähemmäksi kuluttajaa. Uudet ratkaisut avaavat mahdollisuuksia lop-

pukäyttäjille kehittää ja yhdistellä teknologioita. Kiinnostus teknologiaa kohtaan ja halukkuus muokata omaa käyttökokemusta mahdollistaa edelläkävijäkäyttäjien joukon muodostumisen mahdollisesti myös älykkäiden energiapalveluiden segmentissä.

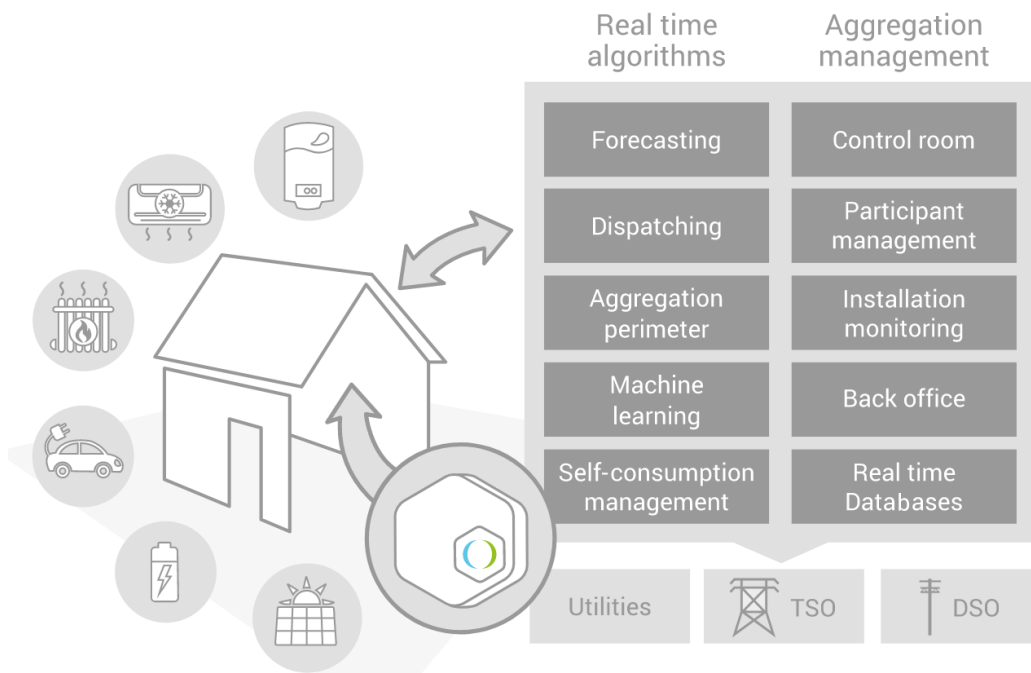
Osana Heiskanen ja Matschossin tutkimusta he järjestivät työpajoja, joiden kautta edelläkävijäkäyttäjien ääni saatiin kuuluviin ja asiantuntijatyöpajojen kautta välitettyä tietoa muun muassa energiayhtiöille. Työpajojen kautta ilmeni, etteivät edes edelläkävijäkäyttäjät osaa innovoida täysin uusia ratkaisuita. Sen sijaan heiltä löytyy ideoita, kuinka olemassa olevia tuotteita ja palveluita voisi yhdistää siten, että ne vastaisivat heidän tarpeeseen. Yritysten tuotekehityksen taustalle vaaditaan siten teknologian syvällistä ymmärtämistä, jota täydentää ja ohjaa asiakkaiden tarpeet.

Tutkimuksessaan Heiskanen ja Matschoss nostavat esiin vaikeuden kehittää tuotteita tai palveluita kuormanohjaukseen ja kysyntäjoustoon, sillä jouston tarpeet nousevat esiin enemmän järjestelmätasolta kuin asiakkailta itseltään. Tällaisten tuotteiden ja palveluiden markkinointi on vaikeaa ja vaatii yhteistyötä niin teollisuuden kuin poliittisten päättäjien kanssa. (Heiskanen & Matschoss, 2016)

Kun tarve joustolle ei kumpua suoraan asiakkailta vaan heidät täytyy motivoida siihen taloudellisin perustein tai ympäristövaikutusten avulla, on erittäin hidasta kasvattaa liiketoiminta massamarkkinalle. Markkina luodaan edelläkävijäkäyttäjien kautta, jotta esimerkiksi joustolle saadaan puolestapuhujia.

Kansainvälisesti kotitalousasiakkaiden joustopalvelussa onnistunut toimija on vuonna 2006 perustettu ranskalainen Voltalis. Voltalixen kuvassa 9 esitetty ratkaisu toteutettiin jousto-ohjelmalla, missä asiakkaille tarjottiin ilmaiseksi joustopalvelun mahdollistava teknologia. Joustopalvelussa asiakkaille luvattiin solidaarisuutta, taloudellisia säästöjä, helppoa järjestelmän seurantaa sekä järjestelmätasolla päästöjen vähentymistä. Voltalis saavutti 75 % konversiolla 100 000 yksityistä kotitaloutta mukaan jousto-ohjelmaan, missä he ohjaavat etäyhteydellä asiakkaiden ilmanvaihtoa, sähkölämmitystä ja lämminvesivaraajia markkinoiden tarpeisiin. (Voltalis, 2018)

Vuonna 2017 Business Finland, VTT ja joukko suomalaisia yrityksiä käynnistivät yhteisrahoitteisen EDES-projektin (VTT, 2018). Projektin tavoitteena on valmistaa energia-alan toimijoita energiamarkkinamurroksen ja digitalisaation tuomiin uusiin haasteisiin. Projektissa tutkitaan uusien toiminnallisuuksien ja liiketoimintamahdollisuuksien löytymistä yritysten välisessä yhteistyössä uudessa toimintaympäristössä. EDES-projektissa toteutettiin marraskuussa 2018 kuluttajakysely, jonka tarkoituksena oli selvittää miten innokkaita kuluttajat ovat tukemaan uudenlaisia sähkömarkkinoita, ja millä ehdoilla tukeminen voisi tapahtua.



Kuva 9. Voltalixen ratkaisu kuluttajien sähkön kulutuksen ennustamiseen ja ohjaimiseen (Voltalis, 2018).

Kyselyyn vastasi 2 110 sähkön pienkuluttajaa, joista 57,5 % suhtautui ajatukseen etäohjauksesta myönteisesti ja 49 % kaipaasi etäohjauksesta jotain hyötyä, mutta olisi siihen valmis, jos se tapahtuisi huomaamattomasti. Kaivattu hyöty toivottiin ensisijaisesti olevan rahallinen, kuten pienempi sähkölasku (92 % myönteisesti suhtautuvista vastaajista). Ympäristöhyöty nähtiin toisena merkittävänä arvona (52 % myönteisesti suhtautuvista vastaajista). Huolenaiheina etäohjaukseen liittyen kyselyssä nousi esiin yksityisyyden ja kontrollin menettäminen, lisäkustannukset, tietoturvariski, teknologian toimivuus ja epäreilu hyödynjako. (Immonen, 2019)

Kuluttajatutkimusten nojalla voidaan sanoa, että kuluttajien tietoisuus energia-asioihin ja joustoon on kasvanut vuosien aikana. Voltalis on hyvä esimerkki siitä, kuinka kuluttaja-asiakkaita on mahdollista saada mukaan joustoon merkittävä määrä, kunhan joustoon osallistuminen ei vaadi taloudellisia uhrauksia ja se on läpinäkyvää. Kuluttajien motivoinnissa edelläkävijyyden ja teknologiakiinnostavuuden lisäksi painavia argumentteja on taloudellisten vaikutusten optimointi ja ympäristöhyödyt.

3.4 Edelläkävijäkäyttäjien löytäminen

Edelläkävijäkäyttäjät ovat kriittinen resurssi markkinoiden kehittämisessä ja kehittymisessä, sillä he viitoittavat tietä kohti teknologia- tai markkinamurrosta. Edelläkävijäkäyt-

täjien löytäminen voi kuitenkin olla vaikeaa. Etsintään on muutamia eri menetelmiä. Edelläkävijäkäyttäjiä voi etsiä vuorikiipeilymenetelmällä, lumipallomenetelmällä tai pyramidi-
menetelmällä (Heiskanen, Matschoss ja Saastamoinen, 2012). Vuorikiipeilymenetelmällä, eli ”lead user mountaineering”-menetelmällä tarkoitetaan edelläkävijöiden etsimistä jo tunnettujen edelläkävijöiden kautta, jolloin aina uuden edelläkävijän löytyessä valloitetaan osa vuoresta ja edetään kohti huippua. Menetelmässä yhdistyy edelläkävijöiden etsintä lumipallomenetelmällä, eli yksi kertoo tuntemastaan edelläkävijästä ja sitä kautta verkosto lähtee kasvamaan. Toisaalta vuorikiipeilymenetelmässä hyödynnetään pyramidimenetelmää, missä pyritään löytämään alansa huippuedelläkävijä siten, että jokainen nimeää aina itseään paremman edelläkävijän. Eva Heiskasen tutkimuksen mukaan vuorikiipeilymenetelmä on kaikista tehokkain tapa löytää oikeat ihmiset.

Etsintä voi tapahtua myös esimerkiksi kyselylomakkeella, missä kysymyksillä mitataan ihmisten toimintaa. Edelläkävijäkäyttäjien käyttäytymistä selittäviä tekijöitä Eric von Hippelin teorian mukaan on hyötyodotukset, asiantuntijuus ja mielipidejohtajuus. Kohdehenkilöiden löytämiseksi kyselytutkimuksella on syytä kartoittaa henkilöiden toimintaa ja asenteita jokaisessa kategoriassa. Heiskanen, Matschoss ja Saastamoinen ovat tutkineet asiakkaan näkökulmaa älykkään sähköverkon lisäarvoon ja etsineet tutkimukseen edelläkävijäkäyttäjiä Eric von Hippelin teorian mukaisesti (Heiskanen, Matschoss, & Saastamoinen, 2012). Heidän tutkimuksessaan hyötyodotuksia selvitettiin kysymällä sähkönkulutukseen liittyviä tottumuksia, asiantuntijuutta valmiudella korjata tai parantella omia sähkölaitteita sekä uuden teknologian seurantaa eri medioissa, sekä mielipidejohtajuutta aktiivisuudella esimerkiksi alan järjestöissä tai yhdistyksissä.

Edellä esitetyn Heiskasen, Matschossin ja Saastamoisen tekemän kyselytutkimuksen perusteella edelläkävijäkäyttäjiä älykkään sähköverkon palveluiden kehittämiseen voisi löytyä esimerkiksi ihmisryhmistä, jotka ovat vaihtaneet kotinsa lämmitysjärjestelmän, ovat asentaneet kotiautomaatioratkaisuita, edistävät omalta osaltaan toimillaan ilmastomuutosta, asuvat omakotitalossa ja lämmittävät kotinsa sähköllä.

Tämän diplomityön tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi tarvitaan edelläkävijäkäyttäjiä. Helenin asiakkaista sopivia haastateltavia asiakkaita, jotka täyttävät Heiskasen, Matschossin ja Saastamoisen tutkimuksessaan raportoimat ominaispiirteet, löytyy asiakassegmentistä, jonka asiakkaat omistavat sekä aurinkosähköjärjestelmän että sähkövaraston. Kyseisen asiakassegmentin edelläkävijyydestä kertoo myös heidän kiinnostus uutta teknologiaa kohtaan ja kestävät kulutustottumukset.

3.5 Asiakkaan arvon muodostuminen ja palvelun arvolupaus

Tässä kappaleessa käytetään termiä arvo kahdessa merkityksessä: puhutaan asiakkaan arvosta, missä arvo on asiakkaan kokemukseen perustuva. Toisaalta puhutaan palvelun arvolupauksesta eli siitä, mitä arvoa palvelun tarjoaja lupaa asiakkaalle, mutta joka voi poiketa asiakkaan kokemasta arvosta.

Tuote- ja palvelukehityksessä halutaan asiakashaastattelujen ja yhteiskehittämisen kautta päästä käsiksi niihin asioihin, joista asiakas saa hyötyä päivittäiseen elämään. Toisaalta kehityksessä joudutaan tekemään yleistyksiä asiakasryhmäkohtaisesti, jolloin palvelun arvolupaukset kuvaavat yleisellä tasolla kiteytettynä kyseisen palvelun hyötyjä suhteessa kilpaileviin palveluihin. Palvelun arvolupaus muodostaa olennaisen osan yrityksen toimintaa, brändiä ja markkinointia, jonka kautta pyritään sitouttamaan asiakkaita yrityksen tuotteiden ja palveluiden käyttäjäksi. Arvolupauksen taustalle on hyvä miettiä, mitkä asiat tuottavat asiakkaalle arvoa, eli miten asiakkaan elämä muuttuu paremmaksi, helpommaksi tai nautinnollisemmaksi tuotteen tai palvelun avulla.

Asiakkaan kokema arvo on henkilökohtainen asia ja sen eri ilmentymät ja kokemukset arvosta on palvelun tarjoajan syytä ymmärtää. Asiakas voi tulkita arvoksi esimerkiksi hintavertailussa halvemman hinnan, mitata arvoa suoraan rahassa, ottaa huomioon käytön ja kokemuksen yhteisvaikutuksen, tarkastella hyötyjen ja uhrausten suhdetta tai verrata markkinoiden arvoon arvotettavia tuoteominaisuuksia. Vaivattomuus, oman työominaisuuden väheneminen ja stressi tulisi ymmärtää asiakkaan arvomuodostumisessa välittömien kustannusten lisäksi ja pystyä markkinoimaan palvelua asiakkaalle myös niiden kautta. Palveluiden markkinoinnissa käytettävien arvolupauksien valinnalla on merkitystä ja asiakasymmärrys korostuu. Arvolupausta muodostettaessa on tärkeää osata kiteyttää arvolupaus asiakkaalle selkeäksi viestiksi ja sisällöksi, jotta asiakkaan odotukset palvelua kohtaan lähtökohtaisesti aina täyttyvät tai ylittyvät. (Seppänen, 2018)

Jos asiakkaalle syntyy tunneside brändiin, tuotteeseen tai palveluun, on asiakkaan kokema arvo vahvimmillaan sitouttamisen näkökulmasta. Tuotteiden ja palveluiden perusominaisuudet eivät takaa yritykselle kilpailijoista erottautumista eivätkä siten tuota vahvaa asiakassidettä. Kilpailukykytekijöitä parantavia ominaisuuksia tarjoamalla yritys voi erottautua muista yrityksistä asiakkaan silmissä. Poikkeuksellinen suorituskyky, innovatiivisuus, taloudellinen hyöty, asioinnin helppous ja vahva tunnekokemus kasvattavat asiakkaan kokemaa arvoa ja parantavat kilpailukykyä. (Lähdemäki, 2019)

Asiakkaiden sitouttaminen uusien tuotteiden ja palveluiden käyttöön on haastavaa, jos kyseessä on aivan uusi palvelu- tai tuoteidea, ja jolla ei ole vielä kunnollista jalansijaa

markkinassa. Tällaisia uusia tuotteita ja palveluita ensisijaisesti ovat kiinnostuneet kokeilemaan edelläkävijäkäyttäjät, jotka ovat kiinnostuneita teknologiasta ja valmiita näkemään tavallista asiakasta enemmän vaivaa perustuen omaan kiinnostukseen. Edelläkävijöiden etsimiseksi on käytössä alaluvussa 3.4 mainittuja menetelmiä (Heiskanen, Matschoss ja Saastamoinen, 2012).

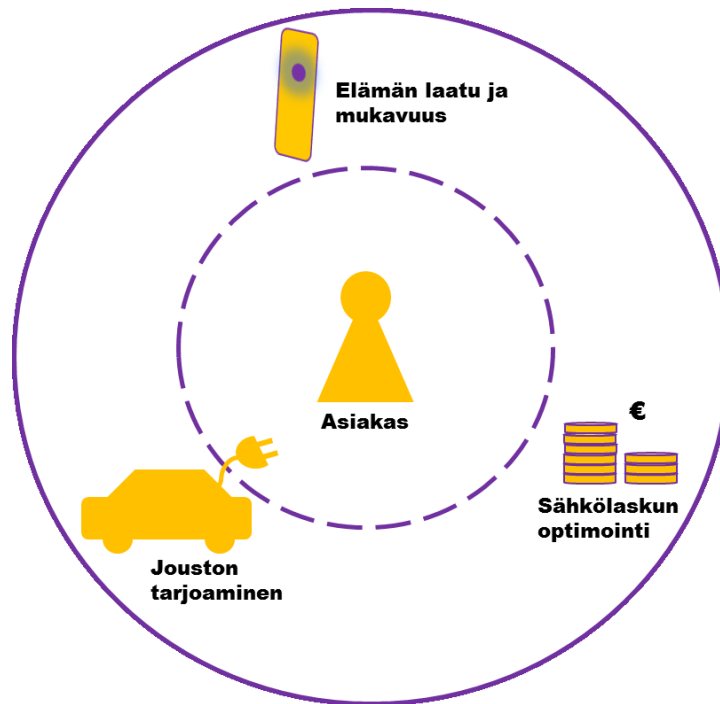
Kun tehdään uutta tuote- tai palvelukehitystä, jonka halutaan istuvan asiakastarpeeseen ja täyttävän asiakkaiden odotukset ja vaatimukset, on hyvä ottaa loppukäyttäjät mukaan kehitys- ja innovaatiotyöhön. Heiskanen, Matschoss ja Saastamoinen esittävät tutkimuksessaan kaksi menetelmää ottaa asiakkaita mukaan kehitykseen. Yksi tapa on mennä asiakkaan luokse ja havainnoida asiakkaan jokapäiväistä elämää ja sen haasteita syöteinä kehitystyölle. Toinen vaihtoehto on pyytää asiakkaita yhteiskehitystilaisuuksiin. (Heiskanen, Matschoss ja Saastamoinen, 2012)

Kehityksessä on haastavaa saada vastauksia suoriin kysymyksiin, sillä kehityksessä ollaan uuden äärellä, jota asiakkaat eivät osaa vielä sanoittaa. Kehittäjien pitäisi siten osata tulkita asiakkaiden käyttäytymistä ja kääntää havainnot tuotteen tai palvelun arvopaukseksi.

Sähkövarastot edustavat tällä hetkellä markkinassa sellaista tuoteryhmää, joka kiinnostaa erityisesti edelläkävijäkäyttäjiä. Teknologia on uutta ja siinä on paljon nyansseja, joihin voi uppoutua oman harrastuneisuuden puitteissa. Teknologia on myös hintava, joka osaltaan rajaa suuremman asiakasryhmän pois. Sähkövarasto teknologiana voisi olla kiinnostava aurinkopaneelit hankkineille asiakkaille, mutta kalliin hinnan vuoksi sähkövaraston hankinta ei ole vielä ajankohtaista massamarkkinalla.

Asiakkaat kaipaavat energiatehokkuustoimenpiteille jonkun symbolisen arvon, jonka tulisi olla muutakin kuin rahassa mitattava säästö. Eva Heiskanen on kirjoittanut, että energiateknologioilta puuttuu yleensä asiakkaiden kaipaama symbolinen arvo. (Heiskanen, Matschoss ja Saastamoinen, 2012)

Onnistuakseen sähkövarastojen joustopalvelun arvon tulisi löytyä mahdollisten taloudellisten motivaattoreiden lisäksi symbolisen arvon kautta. Esimerkiksi ympäristöhyödyt uusiutuvan energian tuotannon lisääntymisen mahdollistajana voisi olla ympäristötietoisiin kuluttajiin vetoava arvo. Muita symbolisia hyötyjä joustopalvelulle voi olla esimerkiksi selkeä raportointi, luotettava huoltopalvelu tai jatkuva toimintakyvyn varmistaminen ja valvonta. Energiapalveluissa asiakkaan arvon muodostumista on havainnollistettu kuvassa 10. Sähkölaskun optimoinnin lisäksi energiaan liittyvillä palveluilla toivotaan saatavan parempaa elämänlaatua ja mukavuutta.



Kuva 10. Asiakkaat hankkivat energiaan liittyviä palveluita, joiden arvo muodostuu sähkölaskun loppusumman optimoinnista, jouston tarjoamisen hyödyistä sekä mukavuutta ja laatua parantavista asioista (Alkuperäinen kuva: Perttu Lahtinen).

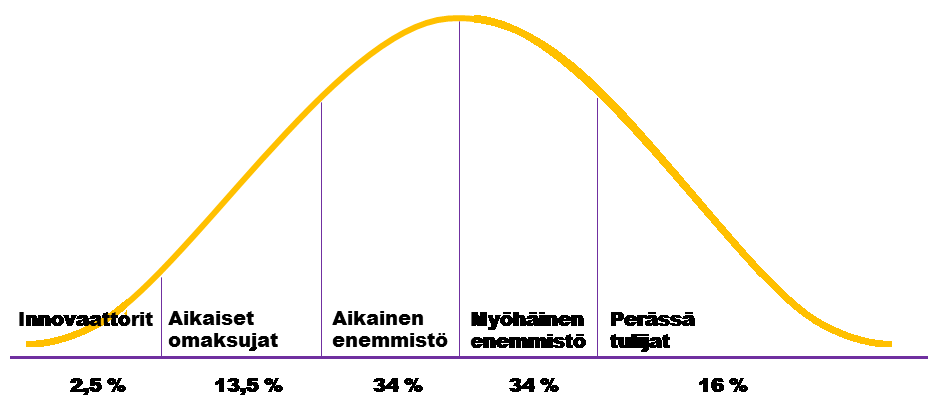
Helenillä jouston alkuvaiheen konseptointiin tehtiin viisi syvähaastattelua teknologiasta kiinnostuneille ja aurinkosähkön tuotannosta ymmärtäville asiakkaille vuonna 2017. Syvähaastattelujen tulosten perusteella asiakkaat kokevat sähkövarastojen arvon liittyvän läheisesti aurinkoenergian tuotantoon ja sen kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen. Syvähaastatteluille asiakkaille teknologia ja ekologisuus olivat tärkeitä asioita, kun taas takaisinmaksuaika ja hinta jakoivat mielipiteitä tärkeä – ei tärkeä -akselilla.

Aurinkosähköjärjestelmän hankinnassa ensisijaiset hankintakriteerit kumpusivat emotionaalisten tekijöiden ohjaamana (ekologisuus, teknologia, status), mutta ostopäätöksen perusteeksi havaittiin tarvittavan myös rationaalisia tekijöitä (takaisinmaksuaika, omavaraisuus, kiinteistön arvo). Haastatteluissa havaittiin myös, että vaikka aurinkopaneelien ostopäätöstä ohjaa emotionaaliset tekijät ja ympäristöystävällisyys, sähkövarastojen kohdalla ajatusmaailma kääntyy nopeasti taloudelliseksi, eli investoinnin tulisi olla taloudellisesti kannattava.

Syvähaastatteluissa kysyttiin myös asiakkaiden suhtautumista kulutusjoustoon, johon suhtautuminen oli lähtökohtaisesti myönteistä. Haastatteluiden lopputulemana joustosta ei kuitenkaan voi rakentaa ensisijaista myyntiargumenttia, vaan sitä voi käyttää keskeisten argumenttien tukena. Myös syvähaastattelut vahvistivat oletuksen siitä, ettei kulutusjoustosta saa koitua ylimääräisiä kustannuksia tai vaivaa.

Helenin sähkövarastoasiakkaiden pohjalta tehdyn asiakasprofiloinnin perusteella voidaan sanoa, että sähkövaraston edelläkävijäkäyttäjät on hyvin toimeentuleva keski-ikäinen ympäristöasioista ja teknologiasta kiinnostunut henkilö.

Ilman selkeää ymmärrystä asiakasryhmien arvoista on mahdotonta tavoittaa heitä. Uusien tuotteiden ja palveluiden käyttöönoton valmiudessa ja adaptoitumisessa uuteen teknologiaan kuluttajien keskuudessa on tunnistettavissa kuvassa 11 esitetyt viisi tyyppiä: innovaattorit, aikaiset omaksujat, aikainen enemmistö, myöhäinen enemmistö ja perässä tulijat. (Rogers, 1971)



Kuva 11. Uuden tuotteen tai innovaation asiakassegmentit voidaan jaotella viiteen ryhmään tuotteen elinkaaren ajalle (Rogers, 1971).

Sähkövarastojen markkinatilanteessa tämänhetkiset asiakkaat edustavat alkuvaiheen innovaattoreita, eli sijoittuvat innovaatioiden elinkaaren alkupäähän. Seuraavassa vaiheessa aikaiset omaksujat siirtyvät käyttämään tuotetta tai palvelua laajemmin, jolloin markkina lähtee kasvuun. Sähkövarastojen tapauksessa aikaiset omaksujat ovat todennäköisesti tällä hetkellä aurinkosähkön tuottajia, jotka tunnistavat tarpeen sähkön varastoinnille ja ovat valmiita investoimaan, kun teknologia on vakiintuneempaa ja hintataso on laskenut.

Innovaattorit ovat riskin ottajia, joilla on taipumusta tulla taloudellisesti paremmin toimeen. Innovaattorit toimivat tyypillisesti saman aihepiirin parissa esimerkiksi tieteellisessä mielessä, kuin heidän kiinnostuksenkohteensa uuden innovaation ympärillä. Innovaattorit myös keräävät ympärilleen ja verkostoituvat samanhenkisten ihmisten kanssa. Aikaiset adaptoitujat seuraavat innovaattoreita toisessa aallossa ja tyypillisesti määrittävät markkinan ollen esimerkiksi voimakkaita ajatusjohtajia eri medioissa. Aikaisilla adaptoitujilla on myös hyvä toimeentulo ja tyypillisesti korkea sosiaalinen status ja

koulutustaso. Innovaattoreihin verrattuna heidän riskinotto on vähäisempää ja he vaativat päätösten taustalle enemmän faktaan perustuvaa tietoa.

Valtavirran kiinnostuessa tuotteesta tai innovaatiosta mukaan tulevat käyttäjäryhmä aikainen enemmistö. Aikainen enemmistö haluaa käyttää resurssinsa tehokkaasti, toisin sanoen he eivät halua hukata rahaa tai ole kiinnostuneita harjoittelemaan teknologian käyttöä kuluttamalla siihen aikaansa. Aikainen enemmistö muodostaa näkemyksensä aikaisten adaptoitujien näkemysten pohjalta, jotka ovat saaneet luotua sosiaalisessa mediassa laajalle levinneen näkemyksen.

Perästä tulijat ovat perinteisten tapojen kannattajia ja omaksuvat uuden innovaation viimeisten joukossa, yleensä siinä vaiheessa, kun tuotteen markkinoilla olemisen on lähtenyt laskuun. Perästä tulijat voivat olla joko huonommin toimeentulevia, omien mielipiteidensä vankeja tai vanhuksia, joilla ei ole samanlaisia valmiuksia ottaa käyttöön uutta teknologiaa.

Asiakassegmenttien jaottelu viiteen ryhmään ei tarkoita ihmisten jakamista stereotyyppisiin kategorioihin, vaan sen avulla markkinan yleistä suuntaa pystytään analysoimaan ja löytämään helpommin kuhunkin vaiheeseen sopivat arvolutapaukset. Jokaisesta viidestä ryhmästä löytyy ääripää, joka poikkeaa yleisestä kuvauksesta. (Interaction Design Foundation, 2018)

3.6 Yhteenveto

Markkinan rakentaminen alkaa edelläkävijäkäyttäjien kautta, jotta esimerkiksi kulutajajoukosta saadaan puolestapuhujia. Joukolla on tärkeä rooli kehittyvässä sähköjärjestelmässä, missä inertia pienenee lisääntyvän uusiutuvan energian tuotannon takia. Kokonaisuuden optimointi vaatii pienien osakokonaisuuksien hallintaa ja siten muun muassa älykkäillä sähkövarastoilla on tärkeä rooli joukon mahdollistajana.

Kuluttajat ovat energian kulutustottumuksissaan arkirutiinien toteuttajia, joten energian kulutuksen ja tuotannon ajoittaminen sähköjärjestelmän tai energian hinnan näkökulmasta parhaaseen hetkeen ei voi olla yksilön vastuulla. Kuluttajien halukkuutta ja sopeutumista uusiin älykkäisiin etäohjattaviin palveluihin on kartoitettu paljon kuluttajatutkimuksilla. Tutkimuksissa esiin nousseet huolet liittyvät muun muassa yksityisyyden suojaan ja luottamukseen. Ohjauksen ja joukon tulisi olla läpinäkyvää ja reilua siten, etteivät oma yksityisyys ja yksilönvapaus vaarannu.

Kuluttajien suhtautumista joustoa kohtaan selvittäneiden tutkimusten yhteenvedona voidaan sanoa, että jouston arvon ei tarvitse olla pelkästään rahaan sidottu ja taloudellinen hyöty. Onnistuakseen sähkövarastojen jousto-palvelun arvon tulisi löytyä rahallisen hyödyn lisäksi myös symbolisen arvon kautta.

4. JOUSTON TALOUDELLISEN POTENTIAALIN JA ASIAKASARVON TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä työssä tutkimuskysymysten TK1 ja TK2 tutkimiseksi käytettyjä tutkimusmenetelmiä on kappaleissa 2 ja 3 kuvatus kirjallisuuskatsauksen lisäksi numeerinen laskenta asiakasdatan pohjalta, kannattavuus- ja hyötytarkastelu sekä asiakashaastattelut.

4.1 Lähtötilanne

Tässä työssä asiakasdatatutkimuksen lähtökohtana olivat Helen Oy:n sähkövarastoasiakkaat, jotka liittyivät edelläkävijöiden joukkoon vuoden 2018 aikana. Työssä tehtävän tutkimuksen taustalla hyödynnetään viiden sähkövarastoasiakkaan vuoden 2018 kesän, syksyn ja talven ajalta kerättyä dataa aurinkopaneelien tuotannosta, sähkönkulutuksesta sekä sähkövaraston toiminnasta. Datan pohjalta on toteutettu Matlab-laskentamalli, jonka avulla jouston taloudellisia hyötyjä on pystytty arvioimaan. Laskentamalli on kuvattu alaluvussa 4.2.

Asiakasdataa asiakkaan energiajärjestelmän toiminnasta on mahdollista saada, mikäli asiakkaalla on toimiva internet yhteys. Sonnen-sähkövaraston tulee olla kytketty internetiin, jotta laitteen on mahdollista kerätä mitattua dataa Sonnen-pilveen. Internetyhteyden ajoittainen katkeaminen on aiheuttanut kerättyyn dataan puutteita. Yhtäjaksoisia hetkiä, kun dataa on kertynyt jokaisesta järjestelmästä samalta ajalta, on vähän ja ne painottuvat alkusyksyyn ja talveen 2018. Olemassa olevaa dataa on siten jouduttu extrapoloidaan asiakasdatakohtaisesti koko vuodelle sen perustella, mitä kukin järjestelmä on kerännyt.

Lisäksi tietoa asiakkaiden motiiveista hankkia sähkövarasto on vähän. Motiiveja on kartoitettu yhdellä asiakastytyväisyyskyselyllä syksyllä 2018, johon vastauksia saatiin viideltä vuonna 2018 sähkövaraston hankkineelta asiakkaalta. Kyselyn perusteella kolme tärkeintä syytä hankkia sähkövarasto ovat oman aurinkosähkön hyödyntäminen kokonaan itse, halu vaikuttaa omilla valinnoilla ympäristöasioihin sekä halu olla omavarainen energiantuotannossa.

4.2 Data-analyysi

Matemaattisen laskentamallin rakentaminen lähti tässä työssä alusta, sillä kuluttajien sähkövarastoja on ollut asiakkailta vasta lyhyen aikaa ja sen takia myöskään dataa,

jonka pohjalta rakentaa mallia ei ole ollut saatavilla. Laskentamallin avulla sähkövarastoasiakkaiden dataa verrattiin toisiinsa sekä tarkasteltiin asiakaskohtaisesti vuorokauden ja vuoden eri ajanhetkinä. Lisäksi Matlab-laskennalla saatuja numeerisia tuloksia jatkokäsiteltiin Excelissä.

Koska asiakkaiden data oli osin puutteellista, tehtiin yhteinen tarkastelu loppuvuosipainotteisesti. Eheää dataa kaikilta viideltä asiakkaalta löytyi syyskuun ja joulukuun väliseltä ajalta. Tulosten vertailukelpoisuuden nimissä data jaettiin kahteen osaan: osaan missä aurinkopaneelit tuottivat yli asiakkaiden kulutuksen (viikot 37-43) ja osaan missä kaikki paneelien tuotanto meni omaan käyttöön (viikot 44-48). Matlab-laskentamallilla laskettiin numeeriset tulokset yksittäisen asiakkaan koko datalle, viikoille 37-43 ja viikoille 44-48. Numeerisia tuloksia käsiteltiin lopuksi Excelissä ja yksittäisen asiakkaan koko datasta lasketut tulokset skaalattiin koko vuodelle.

Datan skaalaus tehtiin koko vuodelle, jotta jouston taloudellisesta potentiaalista saatiin parempi suuntaa-antava arvio verrattuna Fingridin FCR-N tuntimarkkinan koko volyyymiin. Markkinan koko volyymillä tarkoitetaan FCR-N tuntimarkkinalta saatavissa olevia tuloja. Skaalausta tehdessä tiedostettiin kuitenkin menetelmän luovan tuloksiin lisää epävarmuutta aurinkopaneelien tuotannon ja siten varastointitarpeen voimakkaasta vuodenaika sidonnaisuudesta sekä FCR-N tuntimarkkinahinnan vaihteluista johtuen.

Yksittäisen sähkövaraston joustopotentialissa on eroa verrattuna muihin asiakkaisiin, sillä sähkövaraston käyttöaste aurinko-optimointiin riippuu asiakkaan aurinkosähköjärjestelmän koosta sekä sähkökulutuksesta. Viiden sähkövarastoasiakkaan aineistoa ei voi tarkastella populaatiota kuvaavana otoksena, jonka takia työssä on käsitelty jokaista asiakasta yksittäin, laskettu heidän joustopotentialista keskiarvo ja verrattu, kuinka paljon yksittäinen asiakas poikkeaa keskiarvosta. Esitystavalla pyritään havainnollistamaan asiakkaiden hajontaa ja vaikeutta muodostaa lainalaisuuksia näin pienen otoksen perusteella.

4.2.1 Mallin reunaehdot

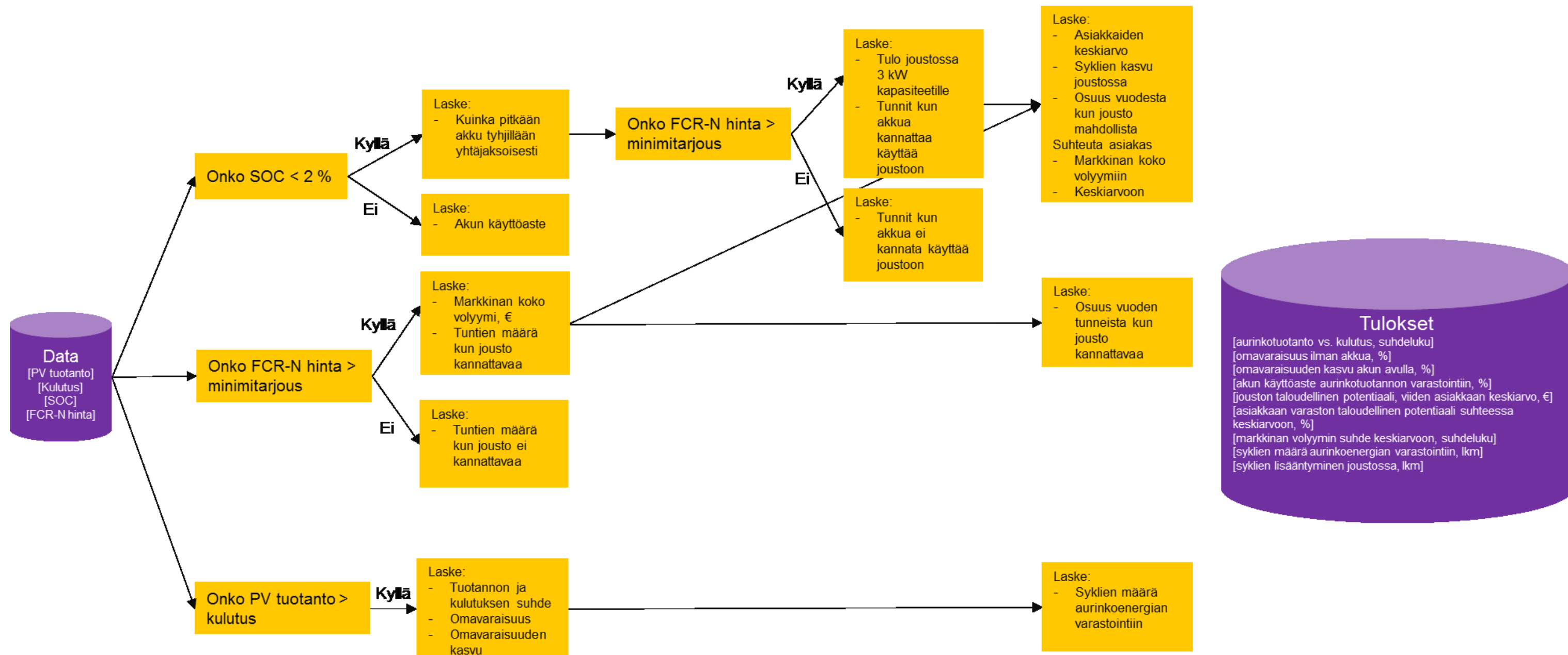
Työssä oletettiin alaluvussa 4.1 mainitun sähkövaraston ostomotiiveja kartoittaneen asiakashaastattelun nimissä, että asiakkaat haluavat itse käyttää kaiken paikallisesti tuotetun aurinkosähkön eli maksimoida omavaraisuuden. Joustolle otollisten hetkien kartoittamiseksi rajattiin siten ulos ne tunnit, jolloin sähkövarasto varastoi tai tuotti asiakkaan hyväksi varastoitua aurinkosähköä.

Matlab-mallissa sähkövaraston käyttöasteen mittarina pidetään varausastetta, eli silloin kun akku on tyhjä ja varausaste alle 2 %, niin asiakkaalle ei ole sähkövarastosta hyötyä

ennen kuin aurinkopaneelit seuraavan kerran tuottavat yli oman kulutuksen. Jotta oltuksen mukaisesti asiakas saisi täyden hyödyn itse tuottamastaan aurinkosähköstä, korvamerkittiin mallissa asiakkaan puolesta mahdolliseksi joustoon kaikki ne tunnit, jolloin akun varausaste on alle 2 %. Laskennassa on ajateltu lainattavan asiakkaan käyttämättömänä olevaa varastointikapasiteettia. Mallissa ei ole huomioitu aikaa, joka vaaditaan jouston kannalta riittävän energiakapasiteetin saavuttamiseksi. Mallin laskentalogiikka on havainnollistettu kuvassa 12.

Sähkövarastojen hyödyntämistä joustoon rajoittaa asiakkaan oman käytön lisäksi markkinasäännöt. FCR-N markkinasääntöjen mukaan resurssin pitää säätyä 30 minuuttia sekä ylös että alas, eli sähkövaraston tapauksessa pystyä sekä lataamaan että purkamaan puoli tuntia tarjotulla tehokapasiteetilla. Markkinasääntöjen nojalla optimaalisin varausaste sähkövarastolle on 50 %. Tässä työssä tehty laskentamalli ei kuitenkaan ota huomioon sähkövaraston varausasteen optimointia ennen jouston aloitusta, kun asiakkaan sähkövarasto on tyhjä tai jouston jälkeen, kun varausaste voi olla mitä vain 0-100 % väliltä. Yhden asiakkaan osalta varausasteen optimointi vähentäisi vuorokaudessa jouston potentiaalia ainakin kahdella tunnilla.

Yksittäistä sähkövarastoa tarkasteltaessa jouston kriteerit ovat vaativat rajallisen säätökyvyn ja omavaraisuuden optimoinnin takia, mutta useamman hajautetun sähkövaraston yhdistelmällä jouston kriteerit täyttyvät helpommin. Osana laskentamallin rakentamista on siten perusteltua laskea jouston potentiaalia karkeammalla tasolla, sillä osana aggregoitua massaa sähkövaraston rajallinen säätökyky ei ole enää niin kriittinen, kun aggregoidut sähkövarastot kompensoivat toinen toisiaan. Yleisen potentiaalin selvittämiseksi halutaan päästä käsiksi keskiarvoistuksiin, jonka laskemiseksi osana laskentamallia määriteltiin joustoon käytettävissä olevat tunnit varausasteen perusteella.



Kuva 12. Laskentamallin logiikka ja datan perusteella laskettavat numeeriset arvot.

4.2.2 Taloudellisen kannattavuuden huomioiminen

Jouston täytyy olla taloudellisesti kannattavaa sekä asiakkaalle että joustopalveluntarjoajalle, joten laskentamallissa huomioitiin minimitarjous, jolla sähkövarastoa kannatta ylipäänsä tarjota FCR-N markkinalle. Minimitarjous muodostettiin katetuottohinnoittelulla, missä muuttuvat kustannukset syntyvät sähkövarastoon ladatun, eli ostoenergian ja sähkövarastosta puretun eli myydyn energian erotuksena.

Tällä hetkellä Helen hyvittää asiakkaille sähköverkkoon myydystä sähköstä 13 snt/kWh, joka kattaa muun muassa Helsingin jakeluverkon alueella sähkön ostamisen kulut (Kiinteähintainen 24 kk-sähkösopimus 5,99 snt/kWh (Helen Oy, 2019), sähkönsiirto 4,07 snt/kWh (Helen Sähköverkko Oy, 2018), sähkövero 2,79 snt/kWh). Katetuottohinnoittelulla minimitarjoushinta muodostuu siten, että Helenille syntyvät kustannukset asiakkaan sähkön siirron ja sähköveron hyvittämisestä tulee katettua kannattavasti.

Tilanne kuvastaa nykyistä regulaatiota ja mallia kutsutaan työssä nykymarkkinamalliksi. Nykymarkkinamallissa sähkövaraston omistaja joutuu siten ladataan sähkövarastoon energiaa, maksamaan energiasta, siirrosta sekä sähköverosta ja purkaessaan sähkövarastosta energiaa sähköverkkoon saa asiakas Helenin korotetun takaisinostohinnan Helenille myymästään sähköstä. Asiakkaalle nykymarkkinamallissa sähkövaraston hyödyntäminen joustoon näyttäytyy sähkövaraston varastointikapasiteetin lainaamisena, eli sähkövarastoon lataaminen kustantaa yhteensä saman verran kuin sähkövarastosta purkamisesta hyvitetään.

Alaluvussa 2.4 todettiin sähköverkkoon liitettyjen sähkövarastojen lakimuutoksesta. Tässä työssä tarkasteltiin myös mallia, missä vastaava etu olisi kirjattu lakiin kiinteistön sähkömittauksen taakse liitetuille varastoille. Työssä puhutaan netotusmallista, jolla tarkoitetaan toimintaympäristöä, missä sähkövaraston omistajan maksettavaksi jäisi ainoastaan sähkövaraston kuluttama häviösähkö, eli sähkövarastoon ladatun ja sieltä puretun energian välinen erotus.

Myös netotusmallin minimitarjouksen laskennassa käytettiin katetuottohinnoittelua, missä muuttuvat kustannukset syntyvät häviöenergiasta (Kiinteähintainen 24kk-sähkösopimus, 5,99 snt/kWh). Helenin muuttuvat kustannukset ovat vastaavasti linjassa asiakkaan muuttuvien kustannusten kanssa, jos asiakkaan hyödyksi hyvitetäisiin häviöenergian verran joustosta saatua tuloa. Lopullinen minimitarjous muodostuu kannattavasta kustannusten kattamisesta.

Yksittäisen sähkövarastoasiakkaan taloudellinen joustopotentiali laskettiin Matlab-laskentamallilla for-silmukassa if-ehtolauseen avulla. Yhden sähkövaraston joustoon käytävissä oleva tehokapasiteetti määriteltiin olevan 3 kW. Asiakkaan sähkövaraston varausasteen datasetti käytiin for-silmukassa lävitse vertaamalla ”varausaste alle 2 %” -ehdon sekä ”FCR-N tuntimarkkinahinta yli minimitarjouksen” -ehdon toteutumista. Jokaiselle ehdot täyttävälle tunnille laskettiin potentiaalinen tuotto (tunnin markkinahinta kertaa sähkövaraston tehokapasiteetti).

Laskentamallin avulla määritettiin eurojen lisäksi myös tuntien määrä, jolloin asiakkaan sähkövarastolla olisi ollut mahdollista osallistua joustoon. Koko markkinan volyymi sekä nykymarkkinamallissa että netotusmallissa määriteltiin tarkasteluvuoden 2018 kaikkien niiden tuntien perusteella, kun tuntimarkkinahinta ylitti kyseisen markkinamallin minimitarjouksen. Tuntien avulla laskettiin Excel-työkirjassa jouston lisäämä akun käyttö, joka näkyy akun tekemissä lataus-purkusykleissä. Helenin omakohtaisen sähkövarastojen joustokokemuksen nojalla käytettiin vakiota 0,17 sykliä/h lisääntyneelle syklien määrälle sähkövaraston toimiessa joustossa. Mallin laskentalogiikka on esitetty kuvassa 12.

Aurinkopaneelien tuottaman ylijäämäsähkön väliaikaisvarastoinnille on päivittäistä tarvetta huhtikuusta syyskuuhun, eli $365 \text{ vrk} / 2 \cong 183 \text{ vrk}$ vuodessa. Aurinkoenergian varastoiminen tapahtuu päivällä ja sen hyödyntäminen illan ja yön aikana. Toimiessaan näin, akku tekee keskimäärin yhden täyden lataus-purkusyklin päivässä. Asiakkaan varaston oletettiin kuluvan normaalissa käytössä 183 syklin vuosivauhtia, johon lisättiin jouston tuoma käytön lisääntyminen.

4.3 Asiakashaastattelut

Työn tutkimuskysymyksissä keskeisessä roolissa ovat palvelun arvolupaus ja asiakkaan kokema arvo. Asiakashaastatteluja varten muodostettiin kirjallisuuskatsauksen perusteella näkemys asioista, joista asiakkaat voisivat kokea saavansa hyötyä osana joustopalvelua. Asiakashaastatteluissa testattiin joustopalvelulle määriteltyjä arvolupauksia: omaa järjestelmää on helppo seurata, oma järjestelmä on jatkuvassa valvonnassa, palvelu mahdollistaa uusiutuvan energian lisärakentamisen, palvelun avulla pääsee konkreettisesti edelläkävijöiden joukossa mukaan tekemään energiamurrosta, ja palvelun ansiosta markkinoiden parhaat energiapalvelut ovat käytössä.

Asiakashaastattelut liittyen joustopalvelun kehitykseen järjestyivät kuuden asiakkaan kanssa osana Helenin yleistä tuote- ja palvelukehitystä. Osa haastatelluista asiakkaista (4/6) oli hankkinut sähkövaraston vuonna 2018, jolloin heidän dataansa hyödynnettiin tässä työssä myös joustopotentialin selvittämiseksi. Kaksi asiakkaista oli uusia vuoden

2019 sähkövarastoasiakkaita, joiden dataa ei ollut käytettävissä tähän työhön osana numerista tarkastelua.

Haastattelut tehtiin parityönä, missä toinen haastattelija keskittyi haastatteluun ja toinen muistiinpanojen kirjoittamiseen. Asiakashaastattelut toteutettiin asiakkaan valitsemassa paikassa, tyypillisesti heidän kotonaan tai puhelinhaastatteluna. Kysymysten asettelu pyrittiin tekemään mahdollisimman avoimeksi, jotta asiakkaiden näkökulmat ja tarpeet pääsisivät parhaiten esiin.

Asiakkailta kysyttiin muun muassa milloin he itse kokevat pystyvänsä hyödyntämään sähkövarastoaan ja vastaako tilanne tavoitetilaa, millaisena asiakkaat näkevät oman roolinsa osana energiajärjestelmäämme ja tuntevatko he jouston käsitettä. Osana joustoon liittyviä kysymyksiä pyrittiin selvittämään myös yhden esimerkin kautta mahdollista toimintamallia joustossa sekä annettiin mahdollisuus kertoa toiveita ja huolia joustoon liittyen. Haastattelun runko on esitetty kokonaisuudessa liitteessä B.

Haastatteluja varten asiakkaat olivat jo virittyneet haastattelun aiheisiin, sillä haastattelua edelsi kahden kuukauden mittainen Helenin spot-hintaohjauspilotti. Spot-hintaohjauspilotissa asiakkaiden sähkövarastoja ohjattiin latautumaan yötariffin aikaan ilta kymmenen ja aamu seitsemän välillä halvimman spot-tunnin aikaan. Asiakkaat olivat sallineet Helenin ohjata sähkövarastojaan etäyhteyden kautta, jonka tuloksia haastatteluissa myös käytiin lävitse. Spot-hintaohjauspilotin tulokset ja niiden läpikäynti on rajattu tämän työn ulkopuolelle, toki asenteet ja vastaukset yleisesti älykkäisiin etäohjauspalveluihin heijastuvat myös jouston koettuihin arvoihin.

5. TULOKSET

Tässä kappaleessa esitetään diplomityön tulokset. Alaluvussa 5.1 esitetään työssä saadut tulokset ensimmäiseen tutkimuskysymykseen (TK1 miten ja mistä jouston arvo muodostuu asiakkaalle?) ja alaluvussa 5.2 toiseen tutkimuskysymykseen (TK2 miten joustoa kannattaa toteuttaa asiakkaiden sähkövarastoilla niin, että siitä on hyötyä asiakkaalle, energiayhtiölle sekä sähköjärjestelmälle?).

5.1 Jouston toimintaperiaatteet

Kuten alaluvussa 4.2.2 on kuvattu, muodostettiin työssä kaksi mallia: nykymarkkinamalli ja netotusmalli. Eri malleissa joustoon hyödynnettävissä oleva aika vaihtelee, joka vaikuttaa joustosta saatavaan ja siitä koettuun arvoon.

Jouston arvon muodostumista on lähestytty joustoon käytettävissä olevien tuntien kautta. Taloudellisen hyödyn muodostumista on tarkasteltu yhden vuoden mittaisella tarkastelujaksolla. Lisäksi osana arvon muodostumista on tarkasteltu jouston vaikutusta akun tekemiin lataus-purkusykleihin. Mitattavissa olevia arvoja lisääviä tai vähentäviä asioita joustossa on siten rahallinen hyöty tai menetys sekä asiakkaan omistaman sähkövaraston käyttöiän pidentyminen tai lyhentyminen. Vaikeammin mitattavia arvoja, kuten vaivattomuutta ja huolettomuutta on tarkasteltu osana asiakashaastatteluiden tuloksia alaluvussa 5.2.1.

Nykymarkkinamallissa jouston taloudellisen kannattavuuden raja on minimitarjous 36 €/MW/h. Minimitarjous on laskettu alaluvussa 4.2.1 esitetyllä katetuottohinnoittelulla. FCR-N markkinalta saatavissa olevalla tulolla täytyy kattaa sähkövaraston häviösähkön lisäksi lataamisen yhteydessä maksettavat sähkönsiirto ja sähkövero. Nykymarkkinamallissa sähkövaraston lataamisen ja purkamisen kustannukset ovat kymmenen kertaa suuremmat netotusmalliin verrattuna. Tammikuussa 2019 voimaan astuneen lakimuutoksen ansiosta suoraan sähköjakelu- tai siirtoverkkoon liitetty sähkövarasto saa ladata verottomasti sähköä, mutta maksaa edelleen paikalliselle jakeluverkkoyhtiölle siirtomaksun. Lakimuutos ei hyödytä kotitaloussähkövarastoja.

Netotusmalli tekisi joustosta taloudellisesti kannattavamman ja lisäisi merkittävästi tuntien määrää vuodessa, jolloin sähkövaraston hyödyntäminen joustoon on kannattavaa. Netotusmallissa kannattavuuden raja on minimitarjous 13 €/MW/h. Minimitarjouksen

koko muodostuu jouston toteuttamisesta syntyvien kustannusten perusteella. Netotusmallissa sähkövaraston lataamisesta ja purkamisesta syntyy vähemmän kustannuksia, sillä vain häviösähköstä maksetaan.

Kannattavin markkinapaikka sähkövarastojen joustolle on Fingridin FCR-N markkina. FCR-N markkinan vuoden 2018 ja vuoden 2019 vuosimarkkinahintaan (14 €/MW/h ja 13,5 €/MW/h vastaavasti) suhteutettuna joustolle löytyy taloudellisia perusteita ainoastaan netotusmallissa. Nykymarkkinamallissa jouston minimitarjous on 2,5-kertainen vuosimarkkinan arvoon verrattuna, jolloin taloudellisesti järkevin vaihtoehto olisi hyödyntää sähkövarastoja joustossa vain FCR-N tuntimarkkinalla niillä tunneilla, kun minimitarjous ylittyy. Jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia, ovat nykymarkkinamallin tulokset ja netotusmallin tulokset taloudellisen potentiaalin osalta laskettu vuoden 2018 FCR-N tuntimarkkinan arvostuksella.

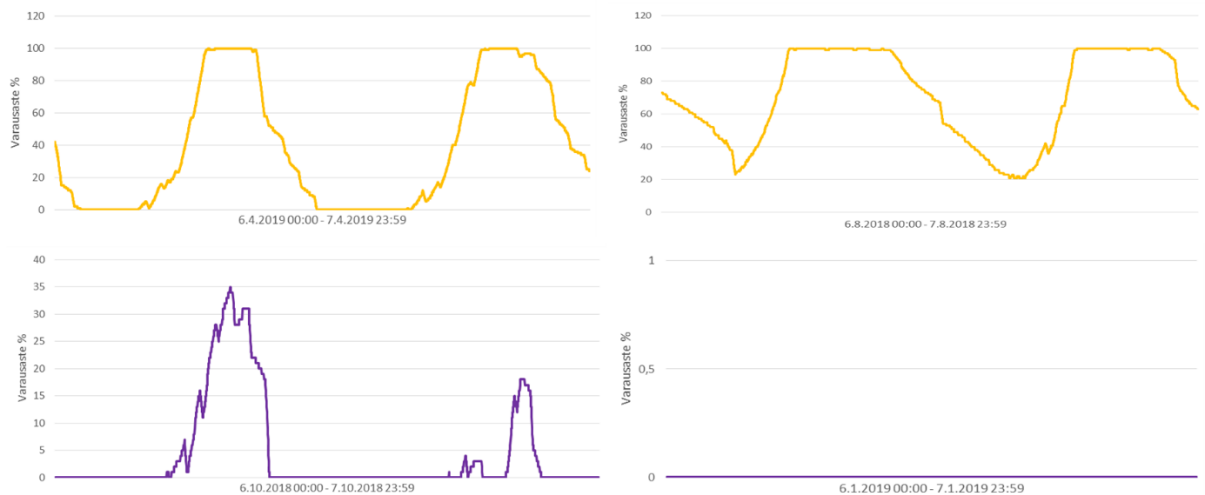
Tuntimarkkinalla hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan perusteella. Vuonna 2018 tuntimarkkinan keskihinta (22,79 €/MW/h) on ollut vuosimarkkinan kiinteää hintaa huomattavasti korkeampi. Vuonna 2018 tuntimarkkinalla minimitarjouksen 36 €/MW/h ylittäviä tunteja on ollut 15 % ja minimitarjouksen 13 €/MW/h ylittäviä tunteja 62 % vuoden tunneista.

Vuoden 2018 FCR-N tuntimarkkinalla olisi voinut nykymarkkinamallin mukaan saada tuottoa enintään 82 977 € yhden megawatin kapasiteetilla. Tuotto on laskettu siten, että kapasiteetiltaan 1 MW resurssi olisi osallistunut joustoon kaikilla niillä tunneilla, kun tuntihinta on ylittänyt 36 €/MW/h. Vastaavasti netotusmallilla tuotto olisi ollut 165 281 € yhden megawatin kapasiteetilla. Netotusmallilla laskettuna on huomioitu kaikki ne tunnit, kun tuntihinta on ylittänyt 13 €/MW/h. Vuoden 2018 FCR-N tuntimarkkinan koko volyyymi oli kapasiteetiltaan yhden megawatin resurssille 199 635 €. Tuntimarkkinan koko volyymin laskemiseksi on laskettu tuotto 1 MW resurssille kaikille vuoden tunneille ilman minimitarjousrajaa. Esimerkiksi yksi Sonnen-sähkövarasto on kapasiteetiltaan 3 kW, jolloin sähkövaraston laskennallinen maksimipotentiaali olisi 0,3 % edellä lasketuista kapasiteetiltaan yhden megawatin resurssin vuosituotoista.

5.1.1 Aurinkoenergian tuotannon vaikutus joustoon

Asiakkaiden sähkövarastojen hyödyntämistä joustoon rajoittaa hinnan lisäksi aurinkoenergian tuotanto. Sähkövaraston varausasteen muutosta eri vuodenaikoina on havainnollistettu kuvan 13 avulla, mistä nähdään sähkövaraston täyttyminen ja tyhjentymisen kulutukseen valittuina esimerkkipäivinä keväällä, kesällä, syksyllä ja talvella.

Asiakas on investoinut omavaraisuuteen ja uusiutuvaan energiantuotantoon, jonka tukeminen on sähkövaraston tärkein ja ensisijainen tehtävä. Aurinkoenergian tuotannon kannalta sähkövaraston hyödyntäminen joustoon onnistuu parhaiten talvella. Keskikesällä sähkövarastossa ei ole yleisesti vapaata kapasiteettia joustoon. Aurinkoenergian tuotannon välivarastointi ja jousto johtavat siten hetkittäin ristiriitatilanteeseen, sillä kuten alaluovassa 2.3 todetaan, joustolle sen tuottojen kannalta parhaat ajankohdat ovat kevät ja kesä, jolloin myös aurinkoenergian tuotanto on parhaimmillaan.



Kuva 13. Sähkövarasto varastoi aurinkopaneelien ylituotantoa: keväällä ja kesällä sähkövaraston rajallinen varastointikapasiteetti tulee vastaan, kun sähkövarasto täyttyy (varausaste 100 %). Syksyllä puolestaan varastointikapasiteettia hyödynnetään vain osittain (varausaste alle 50 %) ja talvella sähkövarasto on käyttämättömänä (varausaste 0 %).

Työssä laskettiin viiden sähkövarastoasiakkaan jouston taloudellinen potentiaali ottamalla huomioon kunkin asiakkaan yksilöllinen sähkövaraston käyttöaste aurinkoenergian varastointiin. Taulukossa 2 on esitetty kolmen asiakkaan kulutuksen ja tuotannon suhteen vaikutusta asiakkaiden omavaraisuuteen ja sen kasvuun sähkövaraston ansiosta. Vertailussa huomioitiin viidestä asiakkaasta vain ne asiakkaat, joilla on samankoinen sähkövarasto.

Taulukko 2. Sähkövaraston vaikutus omavaraisuuteen ja sen käyttöaste erilaisten kulutus- ja tuotantoprofiilien tapauksessa perustuen kolmen asiakkaan dataan.

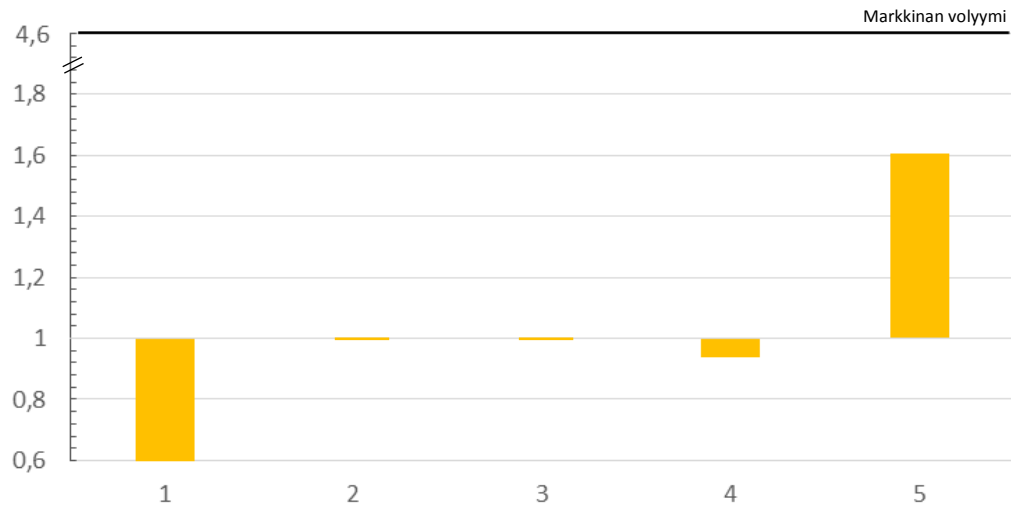
Sähkövarasto 3,3 kW / 6 kWh	Asiakas 2	Asiakas 4	Asiakas 5
Aurinkosähkön vuosituotannon suhde vuosikulutukseen	0,8	0,4	0,17
Tulokset viikkojen 35–43 ajalta			
Aurinkopaneelien tuotannosta suoraan kulutukseen	48 %	44 %	60 %
Omavaraisuuden kasvu sähkövaraston avulla	109 %	123 %	66 %
Sähkövaraston käyttöaste aurinkoenergian varastointiin	42 %	31 %	14 %

Mitä suurempi osuus aurinkopaneeleilla tuotetusta sähköstä saadaan ilman sähkövarastoa hyödynnettyä, sitä pienempi on omavaraisuuden kasvu, kun sähkövarasto liitetään osaksi energiajärjestelmää. Lisäksi mitä suurempi kulutus on tuotantoon nähden, sitä pienempi on sähkövaraston käyttöaste aurinkoenergian varastointiin. Edelleen mitä pienempi on sähkövaraston käyttöaste, sitä enemmän löytyy tunteja, jolloin sähkövarastoa olisi mahdollista hyödyntää joustoon.

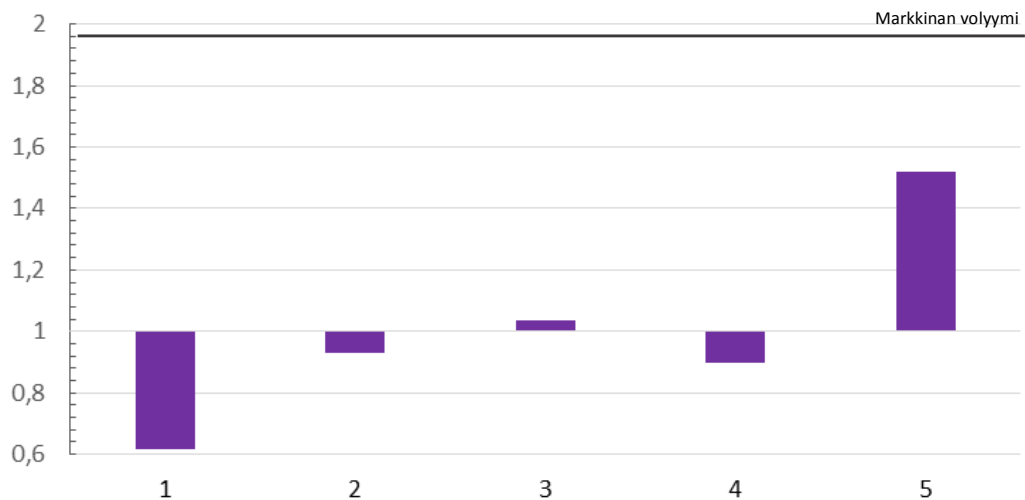
5.1.2 Sähkövaraston joustopotentiali

Viiden asiakkaan joukosta löytyi ääripäinä sähkövarasto, jonka omakäyttö aurinkoenergian varastointiin on korkea ja jolloin vuodessa jouston osuus jää keskiarvoa pienemmäksi (asiakas 1, kuvassa 14). Toisaalta löytyi sähkövarasto, joka voisi osallistua joustoon huomattavasti keskiarvoa enemmän (asiakas 5, kuvassa 14). Nykymarkkinamallissa sähkövarastoasiakkaiden jouston taloudellisen potentiaalin keskiarvo on 4,6 kertaa pienempi koko markkinan volyymiin suhteutettuna, kuten kuvasta 14 nähdään. Koko markkinan volyymilla tarkoitetaan yhden Sonnen-sähkövaraston taloudellista maksimipotentiaalia FCR-N tuntimarkkinalla, eli tuottoa joustosta silloin, kun tuntihinta on ylittänyt 36 €/MW/h.

Jouston taloudellinen potentiaali paranee netotusmallin tapauksessa, sillä FCR-N tuntimarkkinan minimitarjouksen rajahinta alenee. Asiakkaan oma käyttö rajoittaa markkinahinnan lisäksi sähkövaraston käytettävyyttä joustoon. Viiden asiakkaan keskimääräinen taloudellinen joustopotentiali jää kuvan 15 mukaisesti noin kaksi kertaa pienemmäksi koko markkinan volyymiin suhteutettuna. Koko markkinan volyymilla tarkoitetaan netotusmallissa yhden Sonnen-sähkövaraston taloudellista maksimipotentiaalia FCR-N tuntimarkkinalla, eli tuottoa joustosta niillä tunneilla, kun tuntihinta on ylittänyt 13 €/MW/h.



Kuva 14. Viidelle asiakkaalle laskettiin nykymarkkinamallilla jouston tuotto oman käytön puitteissa, jota verrattiin viiden asiakkaan jouston taloudellisen potentiaalin keskiarvoon. Kuvassa on esitetty asiakkaan tuoton suhde keskiarvoon asiakaskohtaisesti. Markkinan volyymi kuvastaa Sonnen-sähkövaraston FCR-N tuntimarkkinan maksimituoton suhdetta asiakkaiden keskiarvoon nykymarkkinamallilla

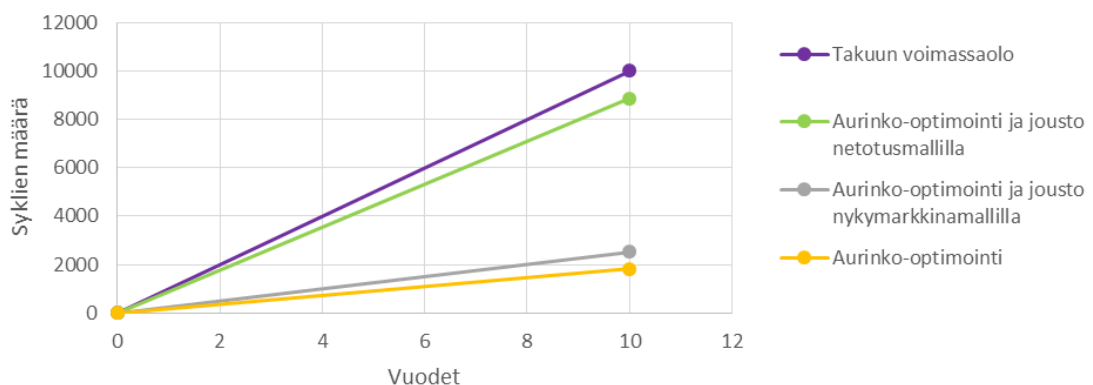


Kuva 15. Viidelle asiakkaalle laskettiin netotusmallilla jouston tuotto oman käytön puitteissa, jota verrattiin viiden asiakkaan jouston taloudellisen potentiaalin keskiarvoon. Kuvassa on esitetty asiakkaan tuoton suhde keskiarvoon asiakaskohtaisesti. Markkinan volyymi kuvastaa Sonnen-sähkövaraston FCR-N tuntimarkkinan maksimituoton suhdetta asiakkaiden keskiarvoon netotusmallilla.

5.1.3 Jouston vaikutus sähkövaraston elinikään

Sähkövarastojen käyttöikä lyhenee, mitä enemmän niitä ladataan ja puretaan. Työssä tarkasteltujen Sonnen-sähkövarastojen takuuraja on joko 10 vuotta tai 10 000 lataus-purkusykliä. Kuvasta 16 nähdään, että pelkässä aurinko-optimoinnissa sähkövarasto tekee vain vajaat 2 000 lataus-purkusykliä kymmenessä vuodessa, jolloin takuun lupaa-
masta 10 000 lataus-purkusyklistä jää 80 % käyttämättä. 2 000 lataus-purkusykliä kertyy kymmenen vuoden aikana, kun sähkövarastoon varastoidaan yli oman tarpeen tuotettua aurinkoenergiaa, eli alaluvun 4.2.2 mukaisesti sähkövarasto ladataan kerran vuorokaudessa täyteen ja puretaan tyhjäksi 183 vuorokautena vuodessa.

Nykymarkkinamallilla jouston lisääminen aurinko-optimoinnin rinnalle lisäisi sähkövaraston tekemiä lataus-purkusyklejä kymmenen vuoden takuuajan aikana 34 prosenttia. Netotusmallissa lataus-purkusykljen lisääntyminen on jo merkittävää, vaikka edelleen sähkövaraston tekemät syklit jäävät alle takuun ylärajan. Netotusmallissa lataus-purkusyklejä jää käyttämättä kuvan 16 mukaisesti 11 prosenttia takuun lupaamasta kymmenes-
tätuhannesta syklistä.



Kuva 16. Jouston vaikutus sähkövaraston tekemiin lataus-purkusykleihin ja käyttöasteeseen.

5.2 Jouston hyöty asiakkaille, energiayhtiölle ja sähköjärjestelmälle

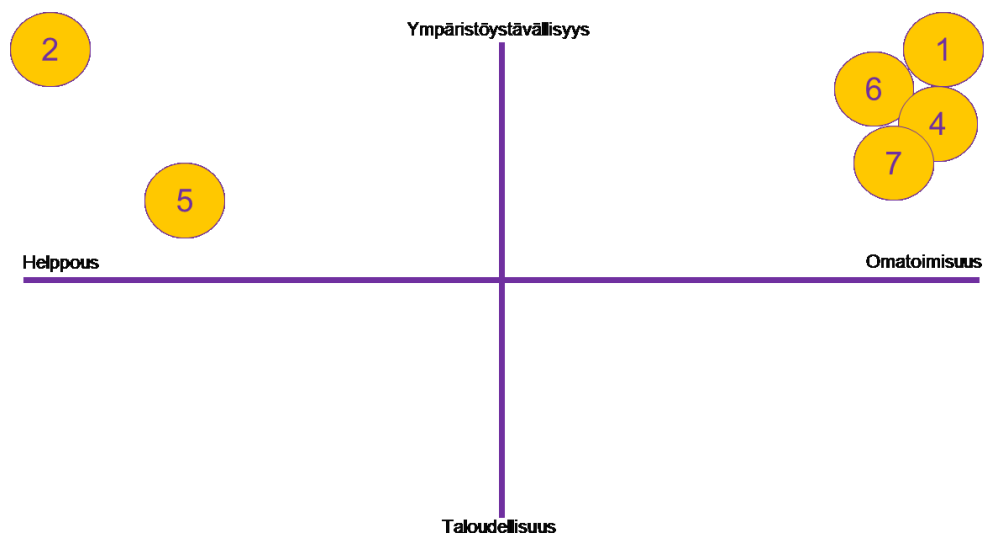
Jouston puolesta ja vastaan kerättiin sähkövarastojen edelläkävijäkäyttäjien mielipiteitä asiakashaastatteluiden avulla. Jouston asiakasarvon tulokset haastatteluiden perusteella on esitetty alaluvussa 5.2.1. Tutkimuskysymykseen TK2 vastaamiseksi jouston hyötyjä energiayhtiölle on tarkasteltu alaluvussa 5.2.2 ja hyötyjä sähköjärjestelmälle alaluvussa 5.2.3.

5.2.1 Hyöty asiakkaille

Asiakashaastatteluiden yksityiskohtaiset tulokset on dokumentoitu jouston osalta liitteessä C. Erittelyn pohjalta esitetään sanallinen yhteenveto tuloksista ja jaetaan asiakkaat haastatteluissa esiin nousseiden arvojen pohjalta kahteen ryhmään. Haastattelujen nojalla asiakkaat voidaan jaotella kahteen ryhmään:

- 1) teknologiasta ja ympäristöasioista kiinnostuneet
- 2) vaivattomuudesta ja ympäristöasioista kiinnostuneet.

Asiakkaiden arvoja on havainnollistettu kuvassa 17 nelikentällä, missä ympäristöystävällisyydellä tarkoitetaan asiakkaan energian tuotanto- ja kulutustottumuksia, omatoimisuudella asiakkaan halukkuutta itse ohjata ja vaikuttaa energian tuotantoon ja kulutukseen, taloudellisuudella asiakkaan suhtautumista energian tuotannon ja kulutuksen hintaan ja kannattavuuteen, ja helppoudella itsenäisesti toimivaa, huoletona ja huoltovapaata energian tuotantoa ja kulutusta.



Kuva 17. Asiakkaiden arvomaailma asiakashaastatteluiden pohjalta.

Yhdistävä tekijä kaikilla haastatelluilla oli kiinnostus ympäristöasioihin ja halu vaikuttaa omilla valinnoilla siihen, minkälaista energiaa he kuluttavat. Ympäristötietoisina asiakaina omavaraisuus oli heille tärkeä arvo, joka nähtiin sähkövaraston hankinnan tärkeimpänä lähtökohtana.

Jokainen haastateltu asiakas näki oman roolinsa osana yhteiskunnan isoja ympäristöpoliittisia kysymyksiä pienenä. Investoimalla aurinkosähkön tuotantoon ja varastointiin asiakkaat halusivat tuottaa ja käyttää omakohtaisesti uusiutuvaa energiaa.

Teknologiasta kiinnostuneet olivat hyvin perillä jouston käsitteestä ja ymmärsivät asian teknisessä mielessä, jonka lisäksi myös laajempi kuva uusiutuvan energian lisärakentamisen haasteista oli tiedossa. Myös helppoutta arvostavien asiakkaiden kanssa joustosta pystyi keskustelemaan ylätasolla, mutta aihetta ei koettu henkilökohtaisesti kovin tärkeäksi. Tutkijataustaiset teknologiasta kiinnostuneet asiakkaat suhtautuivat joustoon avoimesti ja innokkaasti. Muuten teknologiasta ja ympäristöasioista kiinnostuneet asiakkaat olivat itsekkäämpiä oman sähkövarastonsa käytössä.

Haastattelujen myötä asiakkaille kävi selväksi, että talvella sähkövarasto on tyhjiillään käyttämättömänä, mutta asiaa ei osattu spontaanisti ja omatoimisesti nimetä ja nostaa keskusteluun esitettyjen haastattelukysymyksien pohjalta. Sähkövaraston käyttöä ja hyödynnettävyyttä peilattiin omaan kulutukseen ja tuotantoon, eikä sähkövarastoa nähty niinkään kulutuksesta ja tuotannosta irrallisena ohjattavana laitteena.

Teknologiasta kiinnostuneet asiakkaat olivat hyvin selvillä sähkövaraston häviöistä ja sen energiankulutuksesta heidän tekemän aktiivisen järjestelmän seurannan ansiosta. Asiakkaat mainitsivat sähkövaraston kuluttava energiaa myös talviaikaan, joten tehokkaan käytön ja paremman hyötysuhteen valossa nähtiin positiivisena asiana, että sähkövarastolla olisi käyttöä myös talvella. Resurssitehokkuus ilmeni keskusteluissa myös investoinnin hankintahinnan kautta.

Muutamassa keskustelussa nousi esiin sähkövaraston taloudellinen puoli, jolloin asiakkaat mainitsivat löytyvän hetkiä, jolloin he eivät pysty itse sähkövarastoa käyttämään. Keskustelujen mukaan asiakkaat arvostavat laitteen kestävää ja tehokasta käyttöä, jolloin nähtiin kalliin investoinnin tuottavan parhaan mahdollisen hyödyn elinkaarensa aikana, kun sitä hyödyntäisi esimerkiksi myös muiden hyväksi.

Sopivasta mallista sähkövaraston käyttämiseen talvella keskusteltiin ja haastateltaville kuvattiin esimerkki, missä Helen voisi lainata varastoa. Esitetyssä mallissa asiakas saisi lainaamisesta reilun korvauksen, eli Helenin toimesta sähkövarastosta puretusta energiasta hyvitetäisiin 13 snt/kWh, jotta vastaavasti Helenin toimesta ohjattu latausenergian kustannus tulisi katettua.

Asiakkaat suhtautuivat malliin myönteisesti ja varastointikapasiteetin lainaus reilua korvausta vastaan otettiin vastaan positiivisesti. Toimintamallia jatkojalostettiin muutamissa keskusteluissa ja ehdotuksia sopivista sopimusmalleista saatiin. Tärkeänä pidettiin luottamuksen rakentumista ja läpinäkyvyyttä, jotta yksittäinen asiakas ei koe tulevansa huijatuksi tai riistetyksi osana ison toimijan joustotoimenpiteitä.

Vaikka jousto ei ollut teknisessä mielessä kaikille tuttu, kuulosti lainaaminen mahdolliselta varsinkin, jos sitä vastaan Helen vastaisi laitteiden toimintakunnosta ja oikeasta toiminnasta, sekä huolehtisi mahdollisesti jousto-käytössä kuluneiden akkujen tilalle uudet akut.

Yhteenvetona kuudesta asiakkaasta neljä suhtautui suoraan myönteisesti joustoon, kunhan heidän omat käyttötarpeensa olisivat etusijalla ja heillä olisi itsellä mahdollisuus nähdä miten sähkövarasto toimii. Lisäksi jouston tulisi olla reilua ja siitä tulisi saada kompensatio. Kaksi asiakasta kielsi aluksi olevansa kiinnostunut joustosta, mutta kuultuaan tarkemmin aiheesta antoivat sille hyväksynnän, jos heidän varastoistaan pidettäisi huolta vastineeksi joustosta ja sen toimintaperiaatteesta saisi enemmän tietoa.

Lähes kaikki haastatellut asiakkaat nostivat aurinko-omavaraisuuden tärkeäksi ominaisuudeksi sähkövaraston toiminnassa. Kannatusta sai myös sähkövaraston seuranta ja sen ohjattavuus. Muiden tärkeäksi koettujen ominaisuuksien osalta vastaukset hajaantuivat asiakkaiden kesken. Sekä ominaisuuksien listaaminen että keskustelut vahvistivat loppupäätelmää siitä, että asiakkaat ovat hankkineet sähkövaraston tukemaan aurinkoenergian tuotannon parempaa hyödynnettävyyttä ja haluavat itse vaikuttaa siihen, milloin varastoitua aurinkoenergiaa käytetään kodin erilaisiin kulutustarpeisiin. Joustopalvelua ajatellen seuraavaan konseptiin tulisi sisällyttää asiakkaan arvolupauksena: läpinäkyvyys, toimintavarmuus, tehokkuus ja luottamuksen arvoinen reilu lainaaminen.

5.2.2 Hyöty energiayhtiölle

Energiayhtiö hyötyy asiakassuhteistaan monella tapaa: asiakkaat mahdollistavat lisämyynnin, mutta ovat myös uusien kehitysideoiden arvokas lähde. Jousto on yksi lisäpalvelu muiden joukossa ja aktiivisen ohjauksen myötä se muodostaa voimakkaamman asiakassuhteen kuin pelkkä sähkönmyynti. Ohjauksen myötä asiakas on tehtyjen asiakashaastatteluiden nojalla motivoituneempi seuraamaan omaa energiajärjestelmäänsä ja kiinnostunut jouston vaikutuksista omiin kustannuksiin ja sähkövaraston toimintaan.

Jousto sekä muut uudet palvelut, joita energiayhtiöt pystyvät asiakkailleen tarjoamaan, vahvistavat asiakkaiden tyytyväisyyttä ja lisäävät syitä olla vaihtamatta palveluntarjo-

ajaa. Palvelun hyödyn täytyy kuitenkin olla riittävä, jotta asiakas haluaa jatkaa asiakkaana ilman monen vuoden sitoutumista sopimuksellisesti. Kuluttaja-asiakkaita ei voi sitoa pitkillä sopimuksilla vaan kilpailu markkinalla kiteytyy palvelun koettuun arvoon.

Energiayhtiön etu on, että se pystyy paketoimaan asiakkaan tarvitsemat energiaan liittyvät tuotteet ja palvelut kokonaisuudeksi. Tämä nousee esiin asiakashaastatteluissa älykotiin liittyvissä toiveissa ja jouston läpinäkyvyyteen ja raportointiin liittyen esitetyissä ideoissa, jotka mahdollistavat pienyrittäjistä erottautumisen.

Asiakkaat ovat arvokas voimavara uusien palveluiden kehittämisessä ja käyttöönotossa, joten heidät täytyy pitää kehitystyön keskiössä. Asiakkaiden luottamus voitetaan myös osoittamalla kiinnostusta asiakkaiden ongelmiin ja pyrkimällä aktiivisesti tuomaan niihin ratkaisuja. Asiakashaastatteluissa puhuttiin luottamuksesta liittyen kontrastiin ison toimijan ja pienen yksittäisen asiakkaan välillä. Keskustelujen perusteella asiakkaalle pitäisi tarjota mahdollisuuksia osallistua ja nähdä toimenpiteiden vaikutukset ja seuraukset.

Asiakkaan ostopäätökseen vaikuttavat pitkä ja myönteinen asiakassuhde sekä samanlainen arvomaailma yrityksen kanssa. Tämän hetkinen sähkövarastojen asiakaskunta on erittäin ympäristötietoista, joten yhteiset päästötalkoot on asia, jota asiakkaat arvostavat ja jonka eteen he haluavat nähdä yritysten tekevän töitä.

Kuten alaluvussa 5.1.2 on todettu nykymarkkinamallin olevan jouston kannalta epäedullinen, luo se toisaalta energiayhtiölle etulyöntiaseman muiden alojen kilpailijoihin verrattuna, sillä Helenin tavoin muutkin energiayhtiöt voivat vastaavasti kompensoida joustosta aiheutuvia kustannuksia asiakkaiden sähkölaskulla, kun jouston markkinatuloista ei synny jaettavaa hyötyä. Markkinan haltuunotto ja kilpailijoista erottautuminen ovat siis mahdollisia jo tänä päivänä, mikäli se nähdään strategisesti järkevänä.

Energiayhtiöiden hyötyjä jouston puolesta ja vastaan on analysoitu SWOT-analyysillä. Kuvassa 18 on eritelty jouston uhkia, mahdollisuuksia, vahvuuksia ja heikkouksia.



Kuva 18. SWOT-analyysi sähkövarastojen jousto-palvelusta energiayhtiölle.

5.2.3 Hyöty sähköjärjestelmälle

Sähkövarastoilla on paikkansa nopeana säätöresurssina joko isossa mittakaavassa uusiutuvan tuotannon vaihteluiden tasaamisessa tai yleisesti sähköverkon tasapainon ylläpitämisessä vikatilanteissa tai niiden ennaltaehkäisemisessä. Kuten kirjallisuuskatsaus osoitti, jousto on kriittinen elementti sähköjärjestelmässä ja toimintavarmuuden takaamiseksi sitä tullaan tarvitsemaan lisää.

Sähköjärjestelmän näkökulmasta jouston tulee olla luotettavasti saatavilla. Jouston toimitusvarmuus on kuitenkin ristiriidassa asiakkaan omien tarpeiden kanssa, jotka asiakashaastattelujen nojalla on priorisoitava joustoa tärkeämmiksi. Sitoutuminen joustoon tuo joustoa tarjoavalle taholle vastuun jatkuvasta säädöstä luvattuina ajanhetkinä. Nykyinen markkinamalli rajoittaa markkinoille osallistumista minimi tehokapasiteettirajoituksilla, eli joustoa tarjoavalla taholla on oltava Sonnen sähkövarastojen tapauksessa ylläpidettävänäan joukko resursseja minimikapasiteetin aggregoimiseksi. Markkinasäännöt estävät kapasiteettirajoituksen takia yksittäistä sähkövarastoasiakasta osallistumasta itsenäisesti sähkömarkkinoille. Nykyinen toimintamalli on sähköjärjestelmän etu ja parantaa jouston toimitusvarmuutta, sillä yhden sähkövaraston varastointikapasiteetin loppuessa kesken, kompensoivat muut joustopalvelun tarjoajan resurssit syntyvän kapasiteettivajeen.

Sähkömarkkinoiden ja asiakkaiden väliin tarvitaan energiayhtiöiden kaltaisia aggregaattoreita, jotka mahdollistavat asiakkaiden pääsyn osaksi energiamarkkinoita. Aggregaattorit pystyvät järjestelmän tuoman mittakaavaedun myötä vastaamaan luotettavasti jouston tarjoamisesta sähköjärjestelmän hyväksi. Luotettavan palvelun tarjoamisen taustalle tarvitaan volyyymiä, jolloin myös asiakasmäärät korostuvat.

Sähköjärjestelmä hyötyy, mikäli joustoa voidaan ostaa ja tarjota markkinaehtoisesti. Mitä pienemmistä yksiköistä kokonaisuus muodostuu, sitä useammalle asiakkaalle sähkömarkkinoilla on tilaa esimerkiksi energiayhtiöiden kautta.

Sähkövarastomarkkinat tulevat kasvamaan. Alaluvussa 2.4 Suomen tapauksessa asennetun sähkövarastokapasiteetin osoitettiin tuplaantuvan vuonna 2019. Sähkövarastoihin siten investoidaan koko ajan, vaikka niiden ensisijainen käyttötarkoitus ei olisikaan jousto. Nykyiset markkinamallit olisi syytä rakentaa siten, että jousto saataisiin mahdollistettua tulevaisuudessa. Markkinoiden kehitystyön tuloksena olisi toivottavaa, että olemassa olevat sähkövarastot voisi liittää joustoon myöhemmin. Jousto mahdollistaa uusiutuvan energian laajamittaisen hyödyntämisen ja sähkövarastoilla on iso rooli kokonaisuudessa.

5.2.4 Jouston kokonaishyödyt

Jotta yllämainitut hyödyt asiakkaalle, energiayhtiölle ja sähköjärjestelmälle saadaan ulosmitattua, jousto kannattaa toteuttaa asiakkaiden sähkövarastoilla siten, että hajauteista sähkövarastoista saatavilla olevalla kapasiteetilla täydennetään energiayhtiön olemassa olevaa portfolioa. Ansaintaa ja hyödynjakoa ei voi laskea pienten sähkövarastojen varaan, vaan ne nähdään kokonaisuutta tukevana osana.

Jouston toteuttaminen vaatii digitaalisen alustan, johon asiakkaiden sähkövarastot tulee integroida. Teknisen kyvykkyyden rakentamiseksi tarvitaan investointeja joustopalveluntarjoajan toimesta. Investoinnin takaisinmaksuajalle ei voi asettaa kohtuuttoman tiukkoja vaatimuksia nykymarkkinan arvostuksella, jos halutaan varautua sähköjärjestelmän kasvavaan jouston tarpeeseen ja tuotantorakenteen hajautumiseen jo nyt.

Asiakkaat eivät suoraan osaa kuvata joustosta itselle saatavaa hyötyä, mutta haastattelujen nojalla he haluavat tukea yhteiskuntaa puhtaamman energian tuotannon lisäämisessä ja ovat siten avoimia joustolle. Jousto nähdään asiakkaiden keskuudessa myönteisenä asiana, kunhan se ei rajoita heidän omaa käyttöään tai kuormita liikaa sähkövarastoa lyhentäen sen elinikää. Lisäksi asiakkaat toivovat, että jousto tapahtuu läpinäkyvästi ja reilusti. Varsinkin teknologiasta kiinnostuneet ovat yleisesti innokkaita testaamaan erilaisia ohjaustapoja sähkövarastoillaan. Vaikka asiakkaiden ensisijainen tavoite

on pyrkiä ohjaustoimillaan omavaraisuuteen, kiinnostaa edelläkävijäkäyttäjien joukkoa uuden tutkiminen ja sitä kautta omakohtaisesti joustossa mukana oleminen.

Nykymarkkinamallilla taloudellista markkinatulojen hyödynjakoa ei kannata tehdä, vaan kompensatio joustoon osallistumisesta on pystyttävä välittämään asiakkaalle muilla keinoilla. Teknologiasta kiinnostuneille uusien palveluiden kehittäminen ja pilotointi ovat itsessään palkitsevaa, jolloin asiakas voi kokea saavansa arvoa mahdollisuudesta osallistua energiamarkkinoille energiayhtiön kautta. Energiayhtiö voi kompensoida joustosta aiheutuvat kustannukset asiakkaalle ja huolehtia asiakkaan laitteiden toimivuudesta sen lisäksi, että edelläkävijäkäyttäjille avautuu mahdollisuus olla mukana ja seurata energiamarkkinan kehitystä. Energiayhtiöillä on mahdollisuus yhteiskehittämiseen asiakkaiden kanssa. Lisäksi energiayhtiöiden oman energiantuotannon kokonaisnäkyvyys ja järjestelmän optimointi paranevat asiakaslaitteiden hallinnan kautta.

Sähköjärjestelmän kannalta paras ja toimintavarmin ratkaisu on osallistua joustoon sähkövarastoilla osana laajempaa portfoliota, jolloin yksittäisten sähkövarastojen vaikutus kokonaisuuteen vähenee. Laaja portfolio, joka voi koostua sähkövarastojen lisäksi vesivoimasta sekä kaasuturbiineista, takaa, että pieni sähkövarastojen volyymi ja niiden rajallinen säätökyky eivät aiheuta sähköjärjestelmän tehotasapainolle ongelmia.

6. YHTEENVETO

Tässä kappaleessa vedetään yhteen koko diplomityö ja tarkastellaan sen tuloksia, merkittävyyttä ja antia Helenin tuote- ja palvelukehitykselle.

Kaiken kaikkiaan työ oli monipuolinen, sillä se sisälsi teknisemmän tarkastelun asiakasdatan pohjalta, missä arvioitiin jouston potentiaalia taloudellisesta näkökulmasta. Toisaalta palvelukehityksen arvokkain ideoiden lähde on asiakkaat itse, joiden tarpeiden kautta lopullinen tarjoama hioutuu muotoonsa. Näin ollen tärkeässä roolissa tässä työssä olivat asiakashaastattelut, joissa ei niinkään keskitytty jouston tekniseen toteutukseen vaan pyrittiin tunnistamaan asiakkaiden asenteita ja arvoja yleisesti liittyen energian tuotantoon ja kulutukseen ja sitä kautta pyrittiin ymmärtämään asiakkaiden tarpeita, joihin joustopalvelulla olisi mahdollista tarjota lisäarvoa.

6.1 Arvolupauksen täyttyminen

Joustopalvelulle tunnistettuja arvoa synnyttäviä ominaisuuksia esitettiin alaluvussa 4.3. Asiakkaan oletettiin kokevan arvoa oman järjestelmänsä helpposta seuraamisesta, järjestelmän huoltovapaudesta ja siitä, että joku valvoo sitä, lupauksesta isommassa kuvassa mahdollistaa uusiutuvan energian lisärakentaminen, mahdollisuus liittyä joustoon ensimmäisten joukossa sekä jatkuva tuote- ja palvelukehitys, joka tuottaa asiakkaan käyttöön uusia palveluita olemassa olevan asiakasyhteyden ansiosta.

Haastattelujen jälkeen havaittiin, ettei asiakkaille ole niinkään arvoa siitä, mihin joukkoon he kuuluvat tai ketä muita tähän joukkoon kuuluu, toisin sanoen edelläkävijyys ei määrittele heitä tai heidän toimintaansa siinä määrin, että sitä kannattaisi korostaa palvelun arvolupauksessa. Enemmän asiakkaat kokevat paloa joko teknologiaa tai päästötöntä energiantuotantoa ja kulutusta kohtaan, joka itsessään on ollut syy hankkia sähkövarasto. Laitteen käyttäminen ja tutkiminen luovat asiakkaalle arvoa.

Toisaalta järjestelmän seuraaminen ja sähkövaraston toimintavarmuus saivat vahvistusta asiakashaastatteluiden pohjalta. Sähkövarastoa haluttiin myös päästä itse ohjaamaan niihin kulutuskohteisiin, mitä kotona oli tunnistettu tarpeellisiksi. Asiakkaat kokisivat sähkövaraston arvon lisääntyvän parempien omien ohjausmahdollisuuksien kautta.

Haastatteluissa nousi esiin järjestelmän seurannan osalta, että jouston läpinäkyvyys, eli toteutunut jousto, pitäisi pystyä tarkistamaan. Lähes kaikki asiakkaat suhtautuivat myönteisesti joustoon silloin, kun heillä ei ole omaa tarvetta varastolle. Vastauksissa korostui

jakamistalouden perusajatus siitä, että jos jollekin muulle on hyötyä sähkövarastosta silloin, kun itsellä ei ole sille käyttöä, on resurssitehokkuutta hyödyntää sitä, kunhan sähkövarasto palautuu omistajalleen alkuperäistä vastaavassa kunnossa.

Rahasta ja rahallisesta korvauksesta oli vain vähän puhetta haastatteluissa, mutta sen sijaan puhuttiin reilusta korvauksesta. Reilu korvaus on tulkinnanvarainen asia, mutta haastateltavat pitivät Helenin maksamaa 13 snt/kWh hyvitystä riittävänä. Oletusten mukaisesti asiakkaat eivät olleet valmiita maksamaan muita kuin omia ja omasta käytöstä aiheutuvia kustannuksia, joten osana joustoa ainakin joustossa kulutettu energia tulisi korvata.

Vaikka asiakkaat olivat lähtökohtaisesti kaikki ympäristötietoisia ja kiinnostuneita omavaraisuudesta, ei uusiutuvan energian tuotannon lisärakentaminen jouston avulla puhutellut asiakkaita. Järjestelmätason hyödyt pitäisi siten saada konkretisoitua asiakkaalle näkyviksi ja tuntuiksi hyödyiksi. Alaluvussa 3.3 esitetyn symbolisen arvon löytyminen joustopalvelulle olisi tärkeää, jotta palvelusta koettaisi saatavan itselle henkilökohtaista hyötyä palveluntarjoajan hyötymisen lisäksi.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastastauksena jouston arvo muodostuisi asiakkaalle sen kautta, että oman laitteen käyttö optimoidaan tehokkaasti. Jos olosuhteet ovat joustolle edulliset, niin asiakas on myöntäväinen lainaamaan varastoaan saaden vastineeksi tunteen siitä, että iso investointi tuottaa hyötyä eikä seiso tyhjänpanttina. Jouston arvo syntyy myös reiludesta, luottamuksesta ja läpinäkyvyydestä, joiden kautta palveluntarjoaja osoittaa kunnioittavansa asiakkaan omaisuutta.

Sähkövaraston käytöstä joustoon tulisi korvata käypä hinta, jonka lisäksi asiakkaan sähkövaraston toimintaa ja yhteyksiä toivottiin valvottavan palveluntarjoajan toimesta. Osa joustopalvelun arvosta siten muodostuu sähkövaraston eliniän takaamisesta, jota vastaan asiakkaalla on mahdollisuus hankkia muitakin etäohjaukseen perustuvia palveluita palveluntarjoaman kasvaessa.

Toiseen tutkimuskysymykseen vastauksena asiakkaiden haastatteluista saatiin vahvistus sille hypoteesille, että asiakas haluaa käyttää kaiken itse tuottamansa aurinkosähkön. Näin ollen sähkövaraston kapasiteettia ei voi varata muuhun käyttöön, mikäli varastoitavaa tuotantoa ennustetaan syntyvän tai varastossa on vielä käyttämättä jäänyttä aurinkosähköä.

Sähköjärjestelmän ja palveluntarjoajan eli energiayhtiön näkökulmasta, jotta asiakkaan arvolupaukset tulisivat täytetyiksi, vaaditaan jouston toteuttamiseksi digitaalinen alusta

teknisen kyvykkyyden aikaansaamiseksi. Joustoalustan tulee pystyä huomioimaan asiakaskohtaiset rajoitteet, mutta samalla luotettavasti ennustaa saatavilla oleva joustokapasiteetti sekä toimeenpanna toteutuneet joustokaupat Fingridin reservimarkkinoilla.

Jotta sähkövaraston lainaaminen joustoon olisi reilua, tulee energiayhtiön pystyä hyvittämään lainaamisesta koituneet kustannukset asiakkaalle. Tämän työn puitteissa kerätyn ymmärryksen valossa Helenin tarjoama 13 snt/kWh on riittävä korvaus sähköenergian lainaamisesta. Myös asiakkaiden toivoma sähkövarastojen kohtuullinen käyttö toteutuu nykymarkkinamallissa regulaation rajoittaessa joustolle kannattavia hetkiä FCR-N tuntimarkkinalla. Kuten alaluvussa 5.1 todettiin, vain 15 % vuoden tunneista ylittää kriteerin, jolloin joustoon osallistuminen on taloudellisesti kannattavaa palveluntarjoajalle.

6.2 Työn suositukset

Jousto herättää kiinnostusta asiakkaiden keskuudessa ja on käsitteenä tuttu. Lisää tietoa ja asiakkaiden opastamista kuitenkin tarvitaan, jotta myös hyväksyntä palvelua kohtaan lisääntyy. Työn toimeksiantajaa eli Heleniä kehoitetaan viestimään joustosta rohkeammin ja asiapitoisesti. Ylätason maalailu ja konseptien esittäminen eivät tarjoa riittävästi konketia tämän hetkisille edelläkävijäasiakkaille, joten esimerkiksi verkkosivuilla välitettävän viestin sisältöön olisi syytä panostaa. Viestinnässä on osattava tunnistaa kohdeyryhmä, joka tuotetta ja palvelua käyttää ja tulee lähitulevaisuudessa käyttämään. Asiakasryhmät ja heidän odotukset tuotetta tai palvelua kohtaan poikkeavat merkittävästi toisistaan, kuten alaluvussa 3.5 on esitetty.

Asiakkaiden kanssa joustossa kannattaa lähteä liikkeelle pilottien kautta. Pilotit ja kokeileva palvelukehitys sopivat hyvin edelläkävijäasiakkaiden asiakasryhmälle sekä kirjallisuuden että asiakashaastatteluiden perusteella. Taloudellinen peruste digitaaliseen joustoalustaan investointiin syntyy isompien joustokohteiden kautta. Kun älykkäitä sähkövarastoja on huomattava volyymi asennettu, on taloudellisesti kannattavaa ottaa pienetkin hajautetut resurssit ohjauksen piiriin. Siten digitaalisen joustoalustan valinnassa on syytä huomioida myös tulevat tarpeet.

Nykyisen regulaation takia asiakkaiden sähkövarastoja voi hyödyntää joustoon lähes aina, kun reservimarkkinoilla hinta on riittävän korkea, eikä se nosta asiakkaiden sähkövarastojen käyttöastetta liikaa. Lisäksi jouston kannalta sopivia tunteja ajoittuu myös talvelle, jolloin asiakkaiden sähkövarastot olisivat sopivasti käytettävissä. Jouston konseptointi pilotoitavaksi palveluksi antaisi arvokasta tietoa sekä asiakkaille että joustopalvelun

tarjoajalle siitä, miten sähkövarastojen ohjaus joustosignaalista todellisuudessa tapahtuisi.

Joustopalvelun ja vastaavien älykkäiden etäohjauspalveluiden kehittäminen viestivät asiakkaille myös yrityksen arvoista ja jo pelkästään niillä voi olla merkittävä myönteinen vaikutus asiakastytyvyyteen. Ympäristötietoisten asiakkaiden määrä lisääntyy jatkuvasti, joten teknisessä mielessä eri tasoille asiakkaille on hyvä tarjota mahdollisuuksia vaikutta itse ja näyttää kuinka yrityksenä Helen vaikuttaa puhtaampaan energian tuotantoon ja tekee kestäviä valintoja. Älykkäiden ja etäohjattavien sähkövarastojen kautta pystyy tarjoamaan osoitetusti monipuolisia palveluita, joten Helenin kannattaa ehdottomasti pitää jatkossakin älykäs sähkövarasto tuotetarjoamassaan ja kehittää uusia palveluita sähkövaraston kyvykkyyksien puitteissa.

6.3 Työn arviointi ja rajoitteet

Aluksi käytettävissä vaikutti olevan hyvin dataa, sillä sähkövarastoasiakkaat olivat olleet tuotteen käyttäjiä parhaimmillaan lähes vuoden. Dataa analysoitaessa huomattiin internetyhteyden aiheuttavan datan saantiin katkoja, joten yhtenäistä dataa kaikilta asiakailta täsmälleen samalta (pitkältä) ajanjaksolta ei ollut.

Osin puutteellisen datan takia työssä jouduttiin käyttämään kunkin asiakkaan kohdalta kaikki se data hyväksi, joka oli saatu mitattua. Osittain katkonainen data oli yksi syy valintaan tarkastella asiakkaita omina kohteinaan ja välttää yleistyksiä koko otosta koskeviksi. Työssä pyrittiin olemaan tietoisesti yleistämättä sään, kulutuksen ja tuotannon yhteisvaikutuksia joustoon. Anonymisoinnin takia ja hajonnan osoittamiseksi asiakkaat asetettiin tuloksien esityksen yhteydessä kuitenkin suhteessa keskiarvoon, vaikka lukijan on hyvä tiedostaa, että kukin asiakas on erilainen ja siten keskiarvo kuvaa huonosti otosta.

Työssä haluttiin löytää suuntaviivoja joustolle sekä yleiseen markkinan arvostukseen suhteutettua joustopotentialia. Siten oli perusteltua yksinkertaistaa tarkastelu ja esittää tulokset sellaisena kuin ne on esitetty. Työn lopputulokset osoittautuivat hypoteesien mukaisiksi, eli valtavaa taloudellista potentiaalia nykyregulaation takia ei löytynyt. Voidaan kuitenkin sanoa numeerisen laskennan tuottaneen arvokasta tietoa ja konkretiaa energia-alalla vallitsevan käsityksen tueksi. Lisäksi tulokset osoittavat, että paljon on tehtävää lainsäädännön muuttamiseksi, mikäli asiakkaita halutaan kannustaa joustoon.

Laskentamallin ja menetelmän rajoitteet on tiedostettu ja tulokset raportoitu ja analysoitu sen puitteissa. Jatkoa varten laskentamallia ja menetelmää voisi edelleen kehittää esimerkiksi laskemalla yhteenlaskettu joustopotentiali kaikkien sähkövarastojen osalta.

Uuden tarkastelun voisi tehdä esimerkiksi vuoden päästä, kun dataa on kertynyt enemmän ja uusia asiakkaita on saatu lisää. Samassa mallin tarkennuksessa kannattaisi tarkastella myös varausasteenoptimoinnin kannalta sähkövarastojen käytettävyyttä joustoon, eli ottaa huomioon akun saattaminen 50 % varausasteeseen ennen ensimmäistä joustoon tarjottua tuntia.

Vastaavasti, kun halutaan mahdollistaa asiakkaan täysimääräinen aurinkoenergian tuotannon hyödyntäminen, olisi mallin hyvä huomioida, että tuntia ennen kuin aurinkopaneelien tuotanto tulee ylittämään asiakkaan kulutuksen, akku olisi purettu tyhjäksi. Näin varmistetaan asiakashaastatteluissakin esiin noussut omavaraisuuden maksimointi ja sähkövaraston hyödyntäminen ensisijaisesti asiakkaan tarpeisiin. Sähkövaraston joustopotentiaalin optimoimiseksi tarvitaan siten sääennustetta. Edelläkävijöiden asiakasryhmä ei antanut perusteita optimoida sähkövaraston käyttöä joko aurinkoenergian varastoinnin tai vaihtoehtoisesti jouston hinnan perusteella, sillä itse tuotetun aurinkoenergian paikallinen hyödyntäminen menee haastatteluiden nojalla kaiken muun toiminnan edelle. Markkinoiden kehittyessä, sähkövarastojen hintojen sekä sähkön hinnan ja jouston arvostuksen osalta, hintaoptimoinnin mahdollisuutta kannattanee tutkia uudelleen.

Asiakashaastattelut antoivat arvokasta lisätietoa edelläkävijäkäyttäjien joukon yleisesti arvostamista ominaisuuksista. Kuten alaluvussa 3.3 on todettu, olisi edelläkävijäkäyttäjien ongelmien pohjalta muotoiltu palvelu hyvä validoida myös laajemman asiakaskunnan keskuudessa. Työn lukijan olisikin siten hyvä tiedostaa, että työssä esitetty malli joustopalvelulle ja sen tuottamalle arvolle on arvioitu hyvin pienen ja valistuneen asiakaskunnan toimesta.

6.4 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Alaluvussa 5.1 esitettiin tuloksia jouston potentiaalista. Tulosten perusteella voidaan todeta, että laskentamalli sopii hyvin ensivaiheen tarkasteluun, mutta on osin yksinkertainen ja puutteellinen. Laskentamalli ja tarkastelun oletukset sekä rajaukset ovat lisäksi yksinkertaistus tilanteesta, eivätkä siten välttämättä kattavasti kuvaa koko ilmiötä. Tässä kappaleessa kuvataan problematiikkaa, joka liittyy jouston yksiselitteiseen kuvaamiseen ja sen tuotteistamiseen ja esitetään jatkoa varten tutkimuskysymyksiä.

Jouston tarpeen ja arvon ennustaminen on haastavaa, sillä Fingridin markkinapaikat päivittyvät vuosittain, eikä alan toimijoilla ole näkyvyyttä sen pidemmälle. Lisäksi sähköverkon taajuuden laatuun vaikuttaa uusiutuvan tuotannon ohessa muita asioita, joten jouston tarvetta ja määrää ei voi ennustaa pelkästään tuuli- ja aurinkotuotannon kasvunusteisiin sidottuna.

Yleiset kehityssuunnat energiantuotantorakenteessa ovat hyvin tiedossa ja siten uusien ratkaisujen kehityksessä otetaan huomioon tulevat tarpeet nykyisten lisäksi. Kuten tässäkin työssä on todettu, ei nykymarkkinamallilla jouston toteuttaminen ole taloudellisesti kannattavaa. Nykyisellä sähkömarkkinarakenteella ja arvostuksella sähkövarastojen joustolle löytyy tilaa jonkin verran, mutta toiminta on enemmän suunnan näyttämistä ja nykyiseen regulaatioon vaikuttamista konkreettisilla toimilla, kuin kannattavaa liiketoimintaa.

Nykymarkkinamallissa tarkastelua voisi laajentaa, ja kehittää laskentamallia ottamaan huomioon kokonaisoptimointi aurinkotuotannon varastoinnissa, asiakkaan muissa käyttötarpeissa sekä joustossa. Kokonaisoptimoinnilla joustolle voisi löytyä nykymarkkinamallissa suurempi potentiaali. Toisaalta kokonaisoptimoinnin arvo pitäisi pystyä välittämään myös sähkövaraston omistavalle asiakkaalle.

Mikäli netotusmalli tulisi mahdolliseksi lainsäädännön tukemana, olisi sähkövarastojen joustolle löydettävissä myös taloudellisia perusteita. Netotusmallissa kannattavia tunteja joustolle olisi jo niin paljon, että monipuolisempaa optimointilogiikkaa sähkövarastojen käytöstä joustoon tarvittaisiin.

Jatkotutkimuksia ajatellen tarkastelu sähkövaraston eliniän ja muiden funktioiden kautta olisi siten aiheellinen. Kun taloudellinen puoli joustosta ei olisi enää tutkimusta ohjaava tekijä, olisi syytä tarkastella seuraavia jatkotutkimuskysymyksiä (JTK):

JTK1: Kuinka paljon vuodessa on varaa lisätä sähkövaraston lataus-purkusyklejä ja miten ne saadaan parhaimmalla tavalla joustossa hyödynnettyä ottamalla huomioon asiakas?

JTK2: Miten sähkövaraston eri funktiot kannattaa sovittaa yhteen asiakkaan kokeman hyödyn näkökulmasta?

Vaikka jouston tekninen toteutus saataisiin ratkaistua, haasteena on edelleen asiakkaiden ymmärrys ja kiinnostus energia-asioita kohtaan. Asiakkaat tekevät koko ajan tietoisempia valintoja ja päätöksiä, jotka perustelisivat asiakkaiden halukkuutta olla mukana joustossa. Kun omilla pienillä teoilla ei pysty vaikuttamaan riittävästi, kannattaisi liittyä osaksi isompaa joukkoa, missä on suurempi muutosvoima. Asiakkaiden tietoisuus ja motivaatio kumpuavat siitä, miten tärkeänä koko yhteiskunta niin Suomen kuin Euroopankin tasolla pitää uusiutuvan energian tuotannon lisääntymistä ja sen myötä joustoa.

Kun asiakkaiden tietämys on riittävällä tasolla, alkaa asiakastarpeita syntyä orgaanisesti. Myös jouston uusia liiketoimintamalleja voisi jatkotutkia seuraavien jatkotutkimuskysymysten avulla:

JTK3: Millaisia asiakastarpeita kuluttajien keskuudesta löytyy liittyen energia-ekosysteemiin, missä joustoa on myös energiayhteisöjen kulutuksen ja tuotannon yhteensovittaminen?

JTK4: Kenen tulisi hallita ekosysteemiä?

LÄHTEET

Annala, S. ym. (2014) "Does Knowledge Contribute to the Acceptance of Demand Response?", *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 1(2), ss. 1–60. doi: <http://dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.2014.02.0005>.

Aro, M. (2017) *Demand Response Potential of Aggregated Loads in Industrial Environment*. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Brink, P. (2018) *Reservimarkkinat turvaavat sähkönsaannin, Fingrid Oyj*. Saatavissa: <https://www.fingridlehti.fi/reservimarkkinat-turvaavat/> (Viitattu: 6. kesäkuuta 2019).

Eckert, V. (2019) *Shell buys German solar battery maker sonnen, Reuters*. Saatavissa: <https://www.reuters.com/article/us-sonnen-m-a-shell/shell-buys-german-solar-battery-maker-sonnen-idUSKCN1Q4199> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

Eduskunta (2018) *Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta, Finlex*. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181226> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

Einolander, J. (2018) *Eksplisiittisen kysyntäjoustopotentialin taloudellinen potentiaali sähköautojen yksityisessä latausverkostossa*. Aalto Yliopisto. Diplomityö.

Energiameklarit (2018) *Sähkömarkkinakatsaus 6/2018*. Raportti. Saatavissa: <https://leppakoski.fi/wp-content/uploads/2017/05/Kk-katsaus-201806.pdf>.

ESett (2018) *Pohjoismaisen taseselvityksen käsikirja Ohjeet ja säännöt markkinaosapuolille*. Raportti. Saatavissa: https://www.esett.com/wp-content/uploads/2019/01/NBS_Käsikirja_SUOMI_2.3.pdf.

Fingrid Oyj (2017) *Liite 1 Tasevastuuta ja taseselvitystä koskeva käsikirja, Osa 1: Fingrid Oyj:n yleiset tasehallinnan ehdot*. Raportti. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/tasesahkokauppa-ja-taseselvitys/liite-1-osa-1-fingrid-oyjn-yleiset-tasehallinnan-ehdot.pdf>.

Fingrid Oyj (2019) *Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-N ja FCR-D), vuosimarkkinahankinta ja toteutuneet tuntikaupat*. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/reservimarkkinainformaatio/Taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi-vuosimarkkinahankinta-ja-toteutuneet-tuntikaupat/> (Viitattu: 21. maaliskuuta 2019).

Fortum Oyj (2017) *Pohjoismaiden suurin akku otettiin käyttöön Järvenpäässä, Lehdistötiedoite*. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2017/03/pohjoismaiden-suurin-akku-otettiin-kayttoon-jarvenpaassa> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

Haikarainen, A. (2019) *Millaisia ovat sähköjärjestelmän haasteet kesäisin?*, *Fingrid lehti*. Saatavissa: <https://www.fingridlehti.fi/sahkojarjestelman-haasteet/> (Viitattu: 22. maaliskuuta 2019).

Heikkilä, M. (2018) *Pohjoismaisen tasehallintahankkeen ajankohtaiset asiat*. Raportti. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/toimikunnat/pohjoismaisen-tasehallintahankkeen-ajankohtaiset-asiat.pdf>.

Heiskanen, E. ja Matschoss, K. (2016) "Consumers as innovators in the electricity sector? Consumer perceptions on smart grid services", *International Journal of Consumer Studies*, 40(6), ss. 665–674. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/ijcs.12280>.

Heiskanen, E., Matschoss, K. ja Saastamoinen, M. (2012) "Asiakkaan näkökulma älykkään sähköverkon lisäarvoon", *Kuluttajatutkimuskeskus*, 2. Raportti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/152331/Asiakkaan_nakokulma_alykkaan_sahkoverkon_lisaarvoon.pdf;sequence=1.

Helen Oy (2016) *Lämpölupas, Enne*. Saatavissa: <https://enne.helen.fi/pages/lampolupaus> (Viitattu: 1. kesäkuuta 2019).

Helen Oy (2019) *Kiinteähintainen sähkö*. Saatavissa: <https://www.helen.fi/sahko/kodit/sahkosopimus/kiinteahintainen/> (Viitattu: 24. huhtikuuta 2019).

Helen Sähköverkko Oy (2018) *Sähkön siirtohinnoista*. Saatavissa: <https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkon-siirtohinnoista.pdf>.

Immonen, A. (2019) *Tuore selvitys: noin puolet kuluttajista valmiita sähkölaitteiden etäohjaukseen*, *VTT*. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/tuore-selvitys-noin-puolet-kuluttajista-valmiita-sahkolaitteiden-etahjaukseen> (Viitattu: 18. huhtikuuta 2019).

Interaction Design Foundation (2018) *Understanding Early Adopters and Customer Adoption Patterns*, *Artikkeli*. Saatavissa: <https://www.interaction-design.org/literature/article/understanding-early-adopters-and-customer-adoption-patterns> (Viitattu: 22. helmikuuta 2019).

Järventausta, P. ja Systä, K. (2018) *Social Energy - Prosumer Centric Energy*

Ecosystem (ProCem), Senecc. Saatavissa: <http://www.senecc.fi/projects/procem-2> (Viitattu: 27. kesäkuuta 2019).

Kuivaniemi, M. ja Uimonen, H. (2019) *Uusi nopea taajuusreservi Fast Frequency Reserve FFR*. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/ajankohtaista-tapahtumat/reservipaiva-2019/reservipaiva-2019---uusi-nopea-taajuusreservi-ffr-id-181280.pdf>.

Kuusisto, V. (2018) *Kysyntäjoustop kaupallistaminen Turku Energiassa*. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Laasonen, M. (2018) *Sähköjärjestelmän matalan inertian hallinta*. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/toimikunnat/180612-sahkojarjestelman-matalan-inertian-hallinta.pdf>.

Lähdemäki, T. (2019) *Asiakasarvo liiketoiminnan kehittämisen lähtökohtana, Balentor Mentoring Blog*. Saatavissa: <https://www.balentor.fi/asiakas-arvo-liiketoiminnan-kehittamisen-lahtokohtana> (Viitattu: 27. kesäkuuta 2019).

Malin, R. (2019) *Lidlin 62 000 m² jakelukeskus saa Suomen suurimman teollisuusakun - katolla on 1 600 aurinkopaneelia, Tekniikka&Talous*. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/lidlin-62-000-m2-jakelukeskus-saa-suomen-suurimman-teollisuusakun-katolla-on-1-600-aurinkopaneelia-6755287> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

Matschoss, K., Heiskanen, E. ja Kahma, N. (2014) ”Älykkäiden energiatehokkuuspalveluiden kehittäminen”, *Kuluttajatutkimuskeskus*. Raportti. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/152248>.

Partanen, J. (2015) *Sähkömarkkinat - Valtakunnallinen sähkötaseiden hallinta ja selvitys*. Saatavissa: <https://docplayer.fi/4997280-BI20a0400-sahkomarkkinat-valtakunnallinen-sahkotaseiden-hallinta-ja-selvitys-jarmo-partanen.html>.

Pöyry (2016) *Kysyntäjoustop liiketoimintamallit ja toimijoiden roolit*. Raportti. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/tki-toiminta/raportit/kysyntajoustop-roolit-alustus-poyry-2016_10_19-alyverkkotyoryhma.pdf.

Rantapohja (2019) *TuuliWatti rakentaa jättiakun Viinamäen tuulipuistoon, Rantapohja*. Saatavissa: <https://www.rantapohja.fi/tiedotteet/tuuliwatti-rakentaa-jattiakun-viinamaen-tuulipuistoon/> (Viitattu: 10. toukokuuta 2019).

Rogers, E. M. (1971) *Diffusion of innovations*. 3.painos. A Division of Macmillan Publishing Co.

Seppänen, M. (2018) ”Arvon APIkin ansaitsee – lisäarvoa APIsta”, teoksessa *API-talous 101*, s. 235.

Siemens (2019) *Kauppakeskus Sellossa oma virtuaalivoimala: Vastaavaa ei ole toteutettu missään muualla*, *Kauppalehti*. Saatavissa: <https://studio.kauppalehti.fi/siemens/euroopan-ekologisin-kauppakeskus-saastaa-energiaa-virtuaalivoimalalla> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

SKM Market Predictor (2019) *Sähköntuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050*. Raportti. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2132100/Sähköntuotannon-skenaariolaskelmat-vuoteen-2050--selvitys-22.2.2019/8d83651e-9f66-07e5-4755-a2cb70585262>.

Sonnen (2019) *sonnen Live, sonnenbatterie*. Saatavissa: <https://globe.sonnenbatterie.de/> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

Söyrinki, S., Heiskanen, E. ja Matschoss, K. (2018) ”Piloting Demand Response in Retailing: Lessons Learned in Real-Life Context”, *Sustainability*, 10(10). doi: 10.3390/su10103790.

Spaen, B. (2017) *Tesla Battery Saved Electrical Grid In Australia When Coal Failed*, *Greenmatters*. Saatavissa: <https://www.greenmatters.com/news/2017/12/22/Y0HJx/teslas-battery-australia-coal-plant-failed> (Viitattu: 5. helmikuuta 2019).

Tampereen yliopisto (2019) *Miten teemme sähköjärjestelmästäämme ilmastoneutraalin?*, *EL-TRAN*. Saatavissa: <https://el-tran.fi/> (Viitattu: 27. kesäkuuta 2019).

Työ- ja elinkeinoministeriö (2018a) *Joustava ja asiakaskeinen sähköjärjestelmä*. Raportti. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/TEM_33_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2018b) *Työryhmä selvittää älyverkkojen mahdollisuudet sähkömarkkinoilla*, työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://tem.fi/alyverkot> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

Urban, G. L. ja von Hippel, E. (1986) ”Lead user analyses for the development of new industrial products”, *Management Science*, 34(5), ss. 569–82. Saatavissa: <https://evhippel.files.wordpress.com/2013/08/lead-users-eric-von-hippel-and-glen-urban-1988.pdf>.

Väänänen, E. (2017) *Aggregating Loads for Demand Response in Industrial*

Environment. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

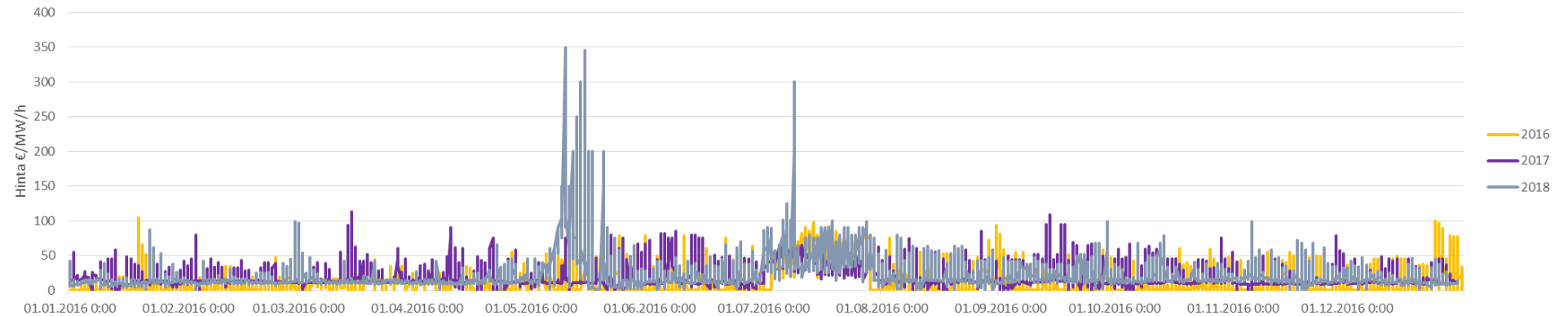
Verohallinto (2019) *Sähkövarasto voi toimia verottomana varastona 1.4.2019 alkaen*, Vero. Saatavissa: [https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/verohallinnon_esittely/uutiset/uutiset/2019/veroton-sähkövarasto/](https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/verohallinnon_esittely/uutiset/uutiset/2019/veroton-sahkoverasto/) (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

Voltalis (2018) *Voltalis -Technology*. Saatavissa: <http://www.voltalis.com/corporate> (Viitattu: 25. huhtikuuta 2019).

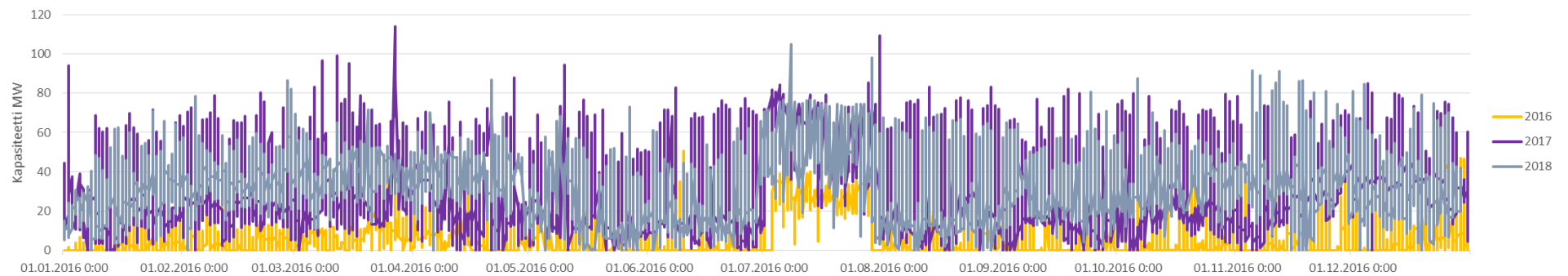
VTT (2018) *Energy Data Ecosystem and Services*, VTT. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/sites/EDES/> (Viitattu: 18. huhtikuuta 2019).

LIITE A: FCR-N tuntimarkkinan hinnan ja hankintamäärän kehitys vuosina 2016–2018.

FCR-N tuntimarkkinahinta



FCR-N tuntimarkkinan hankintamäärät



LIITE B: Asiakashaastattelujen runko

Taustoitus

Kiitos kun lähdit mukaan pilottiimme. Tavoitteenamme oli kerryttää tietämystä sähkövarastojen soveltuvuudesta spot-hintaohjaukseen sekä sen vaikutuksista sähkölaskun loppusummaan. Käymme tässä haastattelussa lävitse spot-ohjauspilotin tuloksia. Sen lisäksi meillä on muutama kysymys liittyen tuleviin palvelukehitystarpeisiin. Omien ideoidenne lisäksi kysymme palautetta muun muassa sähkövarastojen jousto-palveluun. Olisiko teillä tässä vaiheessa herännyt kysymyksiä tai palautetta, mistä haluaisitte keskustella ennen varsinaisen haastattelun aloitusta?

Jousto-palvelu

Aloitetaan muutamalla aiheeseen johdattelevalla kysymyksellä. Älykkäitä laitteita ja niiden etäohjausta tarvitaan, sillä kuormien ohjaus on yksi tapa lisätä joustoa sähköjärjestelmään.

Sähköverkossa kulutuksen ja tuotannon täytyy olla joka hetki tasapainossa. Kun rakennamme lisää uusiutuvaa energiantuotantoa kuten tuuli- tai aurinkovoimaloita, energian tuotantotapamme muuttuu. Meidän on jatkossa vaikeampi ennustaa koska tulee tai paisee aurinko. Tuotannon ennustamisen lisäksi meidän pitäisi tietää etukäteen myös koska kulutamme sähköä: myös tapamme kuluttaa muuttuu koko ajan, tästä hyvä esimerkki on sähköautojen lataaminen.

Jos lisäämme joustavuutta sähköjärjestelmään, ei ole niin vakavaa, jos tuotanto ja kulutus ei kohta joka hetki. Jouston avulla voimme ohjata esimerkiksi kulutusta tai sähkövarastojen tapauksessa niiden latautumista ja purkautumista. Sähkövarastojen joustopalvelulla on siis mahdollista taata, että sähköjärjestelmäämme voidaan kytkeä lisää uusiutuvaa energian tuotantoa.

1. Milloin uskot itse pystyväsi hyödyntämään sähkövarastoa ja vastaako tilanne toivomaasi tavoitetilaa?

VS: _____

2. Millaisena näet oman roolisi energian tuottajana ja kuluttajana? (Onko sinulla halua / koetko että sinulla on vaikutusmahdollisuuksia siihen, miten yhteiskunnassamme tuotetaan ja kulutetaan energiaa?)

VS: _____

Jousto on yksi lisäpalvelu, jolla mahdollistetaan uusiutuvan energian lisärakentaminen. Yhdistämällä voimat saamme pienistäkin osista koottua ison volyymin, josta on apua:

3. Oletko törmännyt jouston käsitteeseen jo jossain, mitä ajatuksia se sinussa herättää?

VS: _____

4. Miltä sinusta kuulostaa malli, missä Helen lainaisi sähkövarastoasi silloin, kun se on tyhjä eikä aurinkopaneelit tuota ylimääräistä varastoitavaa?

VS: _____

5. Minkälaisia toiveita tai huolia sinulla on joustopalvelua kohtaan?

VS: _____

Kiitos vastauksista! Nämä johdattelivatkin jo hyvin toiseen älykkääseen palveluun, jolla voidaan siirtää kulutusta kalliilta tunneilta halvoille tunneille. Sähkön hinta on tyypillisesti kallis, kun sähköä kulutetaan paljon tai sen tuotannossa on haasteita. Sähkö on puolestaan halpaa, kun tuotantoa on runsaasti yli kulutuksen, kuten välillä tuulisina hetkinä.

Käydään seuraavaksi lävitse spot-ohjauspilotin tuloksia, voisimme aloittaa vapaalla sanalla, eli voit kertoa omista kokemuksista ja havainnoista piloin ajalta.

Spot-ohjauspilotin tulokset

Esitellään power point –kalvoilla/printatuilta A3:lta

- Spot-hinta pilotin ajalta
- Pilotin vaikutukset energian kulutukseen + muu asiakkaan energiantuotanto ja -kulutus
- Pilotin kustannus-hyötyanalyysi
- Yhteenveto tuloksista
- Askelmerkit eteenpäin

Palvelukehitys

Lähetetään etukäteen sähköpostilla, kysytään haastattelutilanteessa perustelut valinnalle

Saitte etukäteen listan ominaisuuksista jotka pyysimme laittamaan järjestykseen top3. Kertositko vielä tarkemmin valinnoistasi?

Valitse kolme sinulle tärkeintä ominaisuutta sähkövarastossa (tärkeysjärjestyksessä 1-3)

- ☐ Varastointikapasiteetin laajennettavuus jälkikäteen
- ☐ Varautuminen sähkökatkoihin
- ☐ Aurinko-omavaraisuus
- ☐ Sähkövaraston hinta
- ☐ Sähkövarastoa hyödyntävät älykkäät lisäpalvelut
- ☐ Kyky ohjata itse sähkövarastoa
- ☐ Sähkövaraston toiminnan seuranta
- ☐ Etävalvonta-palvelu turvallisen ja pitkän eliniän varmistamiseksi
- ☐ Sähkövaraston valmistaja ja varaston ulkonäkö
- ☐ Kulutuspiikkien tasoitus
- ☐ Sähköauton lataaminen illalla sähkövarastoon varastoidulla aurinkosähköllä

Mitä muita lisäpalveluita kaipaavat? Vapaa sana:

LIITE C: Asiakashaastattelujen tulokset

Asiakas	Sähkövaraston hyödyntäminen	Oma rooli energian tuottajan ja kuluttajana	Jouston käsite	Esimerkki joustosta – Helen lainaa kapasiteettia	Toiveet ja huolet joustoon liittyen	Top3 sähkövaraston ominaisuutta
Asiakas1	<p>Omavaraisuus tärkeä</p> <p>Tuotanto ja kulutus pitäisi pystyä tasaamaan jopa vaihteittain, johon tarvitsi oman laitteen</p> <p>Talvella akku on tyhjiillään ja kuluttaa sähköä</p> <p>Haluaa itse ohjata kulutustaan ja tuotannon käyttöä suoraan tuotannosta tai varaston kautta – varaston ohjattavuus tärkeä</p>	<p>Hiilivoimasta täytyy päästä eroon</p> <p>Tuottaa itse aurinkosähköä ja ostaa tuulisähköä</p> <p>Ei kuitenkaan koe yksityishenkilöllä olevan kovin paljoa mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöön</p>	<p>Jousto käsitteenä tuttu – tuetaan taajuutta</p> <p>Sähkövarastoa voisi ladata silloin kun ei ole riittävästi kulutusta ja purkaa kun ei ole riittävästi tuotantoa</p> <p>Vähän ristiriitaisia tunteita tästä, ottamalla akun pois käytöstä talvella, säästäisi sähköä. Mutta toisaalta akun pitäminen päällä mahdollistaisi järjestelmän tukemisen.</p>	<p>13 snt/kWh on hyvä diili</p> <p>Huolehdittava siitä, että varasto ei kulu liikaa, silloin talloin joustoon osallistuminen ok</p> <p>Kallis investointi, josta olisi hyvä saada kaikki hyöty irti.</p>	<p>Päästöjen pieneminen on hintaa tärkeämpi kriteeri, valmis ohjaamaan sähkövarastoa päästöjen mukaan</p> <p>Ristiriitaiset tunteet, pitäisi olla mahdollista myydä verkkoon kun on korkea hintapiikki</p> <p>Jousto lisää kulutusta, tuplaa tehomaksum</p>	<p>Kyky ohjata itse sähkövaraston purkamista ja lataamista</p> <p>Sähkövaraston hinta</p> <p>Varastointikapasiteetin laajennettavuus</p>
Asiakas6	<p>Sähkövarasto on aika pieni, tosin kulutuskin on</p> <p>Kevätpäivinä varasto on tukenut hyvin lämmitystä</p> <p>Sähkövarasto vain kuluttaa sähköä talvella</p>	<p>Haluaa kokeilla uusia teknologioita</p> <p>Haluaa tuottaa ja kuluttaa itse kaiken kotoaan, virtuaaliakkuun varastointi ei ole sama asia kun tuotanto ei jää suoraan käyttöön</p> <p>Älykoti-asiat kiinnostavat ja kulutuksen ja sähkövaraston ohjaus esim. sovelluksen kautta</p>	<p>Jousto on tuttu, osoitti kiinnostusta joustoa kohtaan jo ennen kysymyksiä – tarkka toimintalogiikka kuitenkin epäselvä mutta kiinnostaa</p> <p>Haluaisi lukea tarkemmin aiheesta Helenin nettisivuilta</p>	<p>Suhtautuminen joustoon odottavan positiivinen</p> <p>Lainaaminen ok, kunhan käyttö kohtuullisen vähäistä ettei laite kulu</p> <p>Tärkeää että kalliin laitteen käyttöä estetä optimoidaan, ettei seiso tyhjänpanttina</p> <p>Jousto on sopimustekninen asia, missä sovitaan ettei akkua väärinkäytetä ja huolehditaan sen kestävydestä.</p>	<p>Ei olisi hankkinut laitetta jos haluaisi käyttää sitä vain itse, haluaa jakaa hyötyä myös muille</p> <p>Uhkakuvat liittyvät tietoturvaan ja varaston ja varaston verkottumisen kautta</p> <p>Jos varasto kuluu joustossa, on Helenin tehtävä vaihtaa ilmaiseksi uudet akkumoduulit tilalle</p> <p>Jotta huolista pääsisi eroon,</p>	<p>Varautuminen sähkökatkoihin</p> <p>Aurinko-omavaraisuus</p> <p>Sähkövarastoa hyödyntävät älykkäät lisäpalvelut</p> <p>Kyky ohjata itse sähkövarastoa</p> <p>Etävalvonta turvallisen ja pitkän eliniän varmistamiseksi</p> <p>+älykäs sähköverkko ja jousto</p>

Asiakas	Sähkövaraston hyödyntäminen	Oma rooli energian tuottajan ja kuluttajana	Jouston käsite	Esimerkki joustosta – Helen lainaa kapasiteettia	Toiveet ja huolet joustoon liittyen	Top3 sähkövaraston ominaisuutta
				Jousto-sopimuksen tulee olla helposti irtisanottavissa	pitäisi syntyä riittävä luottamus, ettei tule olo että huijataan Oman käyttötarpeen pitää pystyä ohittamaan jousto	
Asiakas2	<p>Kulutus on pientä, joten aurinkopaneelien laajennuksen yhteydessä oli luonnollista hankkia sähkövarasto</p> <p>Nykyinen järjestelmä riittää, kun ei ole esimerkiksi sähkökatkoja</p> <p>Sähkövaraston käytössä ollut katkoja, huolettava paloturvallisuus</p> <p>Onko oikeasti ympäristöteko hankkia akku?</p> <p>Tyytyväinen 13 snt/kWh hyvitykseen.</p>	<p>Haluaa elää ekologisesti ja tuottaa mahdollisimman paljon aurinkoenergiaa – vaikka muidenkin tarpeisiin</p> <p>Sähkövarastot eivät ole kovin ympäristöystävällisiä, pelkkä virtuaaliakkukin riittäisi</p> <p>Pyrkimys ympäristöystävällisiin elämäntapoihin</p>	<p>Ymmärtää lin- tuperspektiivistä ison kuvan energian tuotannon kestämyydestä ja jouston tarpeesta - ei omaa intressiä</p> <p>Haluaa olla mukana yhteisissä ympäristötalkoissa eikä näe ongelmaa jos omaa sähkövarastoa käytettäisiin siihen</p> <p>Ei saa aiheuttaa lisää vai- vaa</p>	Jos yrityksellä on sama arvo-maailma, niin voisi lähteä mukaan kokeiluihin	<p>Laitteen paloturvallisuus huolettava, joten esimerkiksi valvonta palvelulla saisi mielenrauhaa ja varmistuksen sille, että laite toimii oikein ja turvallisesti</p>	<p>Aurinko-omavaraisuus</p> <p>Sähkövaraston toiminnan seuraaminen</p> <p>Etävalvonta palvelu turvallisen ja pitkän eliniän varmistamiseksi</p>
Asiakas5	<p>Tyytyväinen paneelit + akku – yhdistelmään.</p> <p>Pystyy hyödyntämään akkua ladattavan hybridauton lataamiseen illalla.</p> <p>Pystyy hyödyntämään sähkövarastoa maalämmön aiheuttamaan kulutuksen vaihteluun</p>	<p>Hinta-laatusuhde on kehittynyt – nykyisin voi olla jo kannattava investointi</p> <p>Talo oli rakennettu valmiiksi ottamaan huomioon aurinkopaneelit (kaapelointireitit valmiina)</p>	Kallista investointia on järkevää käyttää mahdollisimman tehokkaasti	<p>Joustoon osallistumisen korvaus voisi olla esim. hankintahintaan upotettu etu tai alennus</p> <p>Haluaa itse pystyä seuraamaan jouston toimintaa ja hyötyä</p> <p>Tulisi olla selkeä ja vaivaton</p>	<p>Jouston voisi tuoda näkyväksi ja seurantaan sähkölaskulle saakka</p> <p>Selkeä ja vaivaton</p>	<p>Sähkövaraston toiminnan seuraaminen</p> <p>Kulutuspiikkien tasoitus</p> <p>Sähköauton lataaminen illalla sähkövarastoon varastoidulla aurinkosähköllä</p>

Asiakas	Sähkövaraston hyödyntäminen	Oma rooli energian tuottajan ja kuluttajana	Jouston käsite	Esimerkki joustosta – Helen lainaa kapasiteettia	Toiveet ja huolet jouston liittyen	Top3 sähkövaraston ominaisuutta
	Sähkövarasto on parantanut seurattavuutta.	Kannattaa paikallista energian kulutuksen ja tuotannon tasausta ja optimointia		paketti, missä älykkäät palvelut mukana		
Asiakas4	<p>Sähkövaraston koko omaan kulutukseen nähden hyvä, talvella kulutus on suurempaa joten varastosta ei niin paljon hyötyä</p> <p>Häviöiden suuruus harmittaa</p> <p>Kun on ollut spot-hintainen sopimus, ajoittanut itse kulutustaan yöllä halvoille tunneille</p> <p>Haluaisi pystyä itse ohjaamaan sähkövaraston latautumista</p>	<p>Kuluttajat ovat niin pieniä, ettei toimilla suurta vaikutusta yhteiskunnalle</p> <p>Kun myy itse tuottamaansa sähköä, siitä pitäisi saada kohtuullinen korvaus. Tyytyväinen 13 snt/kWh korvaukseen</p> <p>Kohtuullisesta korvauksesta voisi tuottaa ja myydä myös muille, esim. naapureille</p> <p>Akkujen teknologian kehitykseen pitäisi panostaa, että häviöt saataisi pienennettyä</p>	<p>Jousto käsitteenä tuttu</p> <p>Silloin kun kulutus on pientä ja sähkö halpaa, kannattaisi käyttää akkuja ja voisi olla hyödyllistä</p> <p>Valtakunnallisesti varmaan hyödyllinen, ei niinkään yksittäiselle kuluttajalle</p>	<p>Periaatteessa ok, mutta tiedostaa akun käytön lisääntyvän ja se huolettaa</p> <p>Investoinut paljon rahaa ja haluaa käyttää itse mahdollisimman paljon laitetta. Nykyinen akkujen käyttöikä mieltäyttyä (on aika lyhyt)</p> <p>13 snt/kWh on kunnollinen korvaus, siirtohintaan tyytymätön ja olisi hyvä että se hyvitetään</p>	<p>Kiinnostunut yksityiskohdista: milloin ja kuinka usein joustoa tehtäisi, miten se tapahtuisi</p> <p>16 kWh akku aika pieni, enemmän hyötyä esim. jouston jos isompi akku</p> <p>Akkujen kuluminen on suurin huoli</p> <p>Ei lähtisi heti mukaan jouston, mutta voisi pohtia asiaa ja mahdollisesti kiinnostua</p>	<p>Aurinko-omavaraisuus</p> <p>Sähkövaraston toiminnan seuraaminen (data)</p> <p>Kyky ohjata itse sähkövaraston purkamista ja lataamista</p>

Asiakas	Sähkövaraston hyödyntäminen	Oma rooli energian tuottajan ja kuluttajana	Jouston käsite	Esimerkki joustosta – Helen lainaa kapasiteettia	Toiveet ja huolet jouston liittyen	Top3 sähkövaraston ominaisuutta
Asiakas7	<p>Omavaraisuus kiehtoo</p> <p>Teknologia kiinnostaa</p> <p>Harmittaa ettei ottanut isompaa varastoa, sille olisi voinut olla käyttöä</p> <p>Sähkövarasto ei nykyisellä sähkön hinnalla ole kannattava investointi mutta sähkön hintakehitys voi muuttaa tilanteen</p>	<p>Ei koe hankkimallaan järjestelmällä olevan suurta yhteiskunnallista vaikutusta</p>	<p>Tunnistaa käsitteen, mutta ei ymmärrä kovin syvällisesti</p> <p>Suhtautuminen neutraali</p>	<p>Suhtautuu myönteisesti malliin missä varastoa lainattaisi</p> <p>Varastoa voisi käyttää talvella ”miten tahansa”</p> <p>Pitää itsekin hyötyä joustosta, haluaa ensisijaisesti käyttää kaiken oman tuotannon itse</p>	<p>Joustolle olisi syytä asettaa rajat, ettei varasto kärsi</p> <p>Syklien kertyminen ei huoleta, koska ei ole myöskään hyvä seisottaa akkua käyttämättömänä talvella</p>	-